

**VŠB-Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**VŠB-Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroniky**

**Nabíječ akumulátorů s řízeným usměrňovačem**  
**Sinamics DC-Master**  
**Battery Charger with Sinamics DC Master**  
**Rectifier**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Samuel Haleš**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2612T015 Elektronika  
Téma: **Nabíječ akumulátorů s řízeným usměrňovačem Sinamics DC-Master**  
**Battery Charger with Sinamics DC Master Rectifier**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozeberte aplikační možnosti použití řízeného usměrňovače Sinamics DC-Master.
2. Specifikujte požadavky na způsob nabíjení současných moderních akumulátorových baterií se zdůrazněním na typ LiFePo.
3. Navrhněte a ověřte praktickou aplikaci nabíječe s řízeným usměrňovačem Siemens 6RA80.

Seznam doporučené odborné literatury:


Firemní literatura Siemens: SINAMICS DCM Converter Units a další dle doporučení vedoucího diplomové práce.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Sládeček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

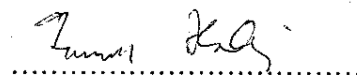


## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 22.6 2016



podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Václavu Sládečkovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při zpracování moji diplomové práce.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá nabíjením akumulátorů pomocí řízeného usměrňovače SINAMICS DC MASTER. Charakterizuje základní vlastnosti a možnosti měniče Siemens. Cílem této práce je navrhnout aplikaci pro nabíjení akumulátorů. V práci se zaměřuji na možnosti nabíjení moderních akumulátorů, především typu LiFePo. V poslední části práce je popsán postup nastavení a ovládání měniče pro nabíjení. V závěru práce je provedeno ověření funkčnosti aplikace.

## **Klíčová slova**

Řízený usměrňovač, SIEMENS, SINAMICS, DC MASTER, DCM, Měnič, STARTER, AC/DC měnič, Akumulátor, LiFePo,

## **Abstract**

The thesis deals with a charging of the accumulator using a regulated rectifier SINAMICS DC MASTER. It defines the basic features and capabilities of Siemens converters. The aim of this thesis is to design an application for a battery charging. The thesis is focused on the possibilities of advanced battery charging, especially of those of LiFePo type. The last part of the thesis describes how to set up and operate with the converter for charging. In conclusion, the verification of application functionality is carried out.

## **Key word's**

regulated rectifier, SIEMENS, SINAMICS, DC MASTER DCM, converter, STARTER, AC / DC converter, battery (accumulator), LiFePo,

## **Obsah**

1	Úvod .....	1
2	Měnič Siemens SINAMICS DC MASTER .....	2
2.1	Výhody SINAMICS DC MASTER [1] .....	2
2.2	DC měnič [1] .....	3
2.3	Control module [1] [2] .....	4
2.4	Regulační struktura měniče [1] .....	5
2.5	Demonstrační pracoviště [1] .....	6
2.6	Řídicí karty [1] [2] .....	8
2.7	Moduly rozšíření [1] [2] .....	8
2.8	Ovladačí panely BOP20 a AOP30 [1] [2] .....	9
2.9	STARTER [1] .....	10
2.10	Aplikace měniče [1] .....	11
2.10.1	Měnič jako regulátor napětí [3] .....	11
2.10.2	DCM jako jednotka buzení [4] .....	12
3	Akumulátory [5] .....	14
3.1	Olověné akumulátory [6] [7] [8] [9] [10] [11] .....	15
3.2	Lithiové články a LFP akumulátory [12] [13] [14] [15] [16] .....	18
4	Navrhněte a ověřte praktickou aplikaci nabíječe s řízeným usměrňovačem Siemens 6RA80. ....	23
4.1	Spuštění programu STARTER .....	23
4.2	Nastavení programu STARTER .....	30
4.3	Měření na akumulátorech .....	39
5	ZÁVĚR .....	47
6	Literatura .....	48

## **Seznam použitých symbolů a zkratek:**

CUD – řídicí jednotka pohonu

DC - Stejnoseměrné napětí

DCM – SINAMICS DC Master

LFP - LiFePo

I - Proud [A]

U - Napětí [V]

t - Čas [s]

## **Seznam ilustrací**

Obr. 1 DC měniče a řídicí modul [1].....	3
Obr. 2 Řídicí modul [2] .....	4
Obr. 3 Regulační struktura [1] .....	5
Obr. 4 Demonstrační pracoviště [1] .....	7
Obr. 5 CUD Advanced a Standart [1].....	8
Obr. 6 TM15 a TM31 [1] .....	9
Obr. 7 Ovládací panel BOP20 a AOP30 [1].....	10
Obr. 8 Schéma regulátoru napětí [3] .....	11
Obr. 9 Blokové schéma aplikace buzení motoru [4] .....	13
Obr. 10 Fáze nabíjení olověného akumulátoru [11] .....	16
Obr. 11 Vnitřní uspořádání LFP baterie [18] .....	20
Obr. 12 Další možné vnitřní uspořádání LFP článku [19] .....	21
Obr. 13 Nabíjení LFP baterie [15].....	21
Obr. 14 Srovnání kapacit LFP a klasických olověných akumulátorů [15].....	22
Obr. 15 Vytvoření projektu pomocí New with wizard.....	23
Obr. 16 Nabídka Project Wizard .....	24
Obr. 17 Vytvoření nového projektu.....	24
Obr. 18 Nastavení rozhraní.....	25
Obr. 19 Nastavení měniče .....	25
Obr. 20 Přehled nastavení.....	26
Obr. 21 Vytvořený projekt .....	26
Obr. 22 Otevření vytvořených projektů.....	27
Obr. 23 Accessible nodes .....	27
Obr. 24 Accessible nodes .....	27
Obr. 25 Připojení měniče.....	28
Obr. 26 Porovnání Offline a Online .....	28
Obr. 27 Obnovení továrního nastavení.....	29
Obr. 28 Možnosti nastavení.....	29
Obr. 29 Struktura měniče.....	30
Obr. 30 Nastavení parametrů měniče .....	30



Obr. 31 Configuration .....	31
Obr. 32 Control panel .....	32
Obr. 33 Nastavení potenciometru .....	32
Obr. 34 Nastavení regulátoru proudu .....	33
Obr. 35 Regulační struktura měniče .....	33
Obr. 36 Control logic .....	34
Obr. 37 Ovladač měniče .....	34
Obr. 38 Nastavení měniče .....	35
Obr. 39 Nastavení měření .....	36
Obr. 40 Požadovaná hodnota proudu - r52011 .....	36
Obr. 41 Aktuální hodnota r52117, nastavení regulátoru $K_p = 0,5$ a $T_n = 0,1s$ ) .....	37
Obr. 42 Aktuální hodnota r52117, nastavení regulátoru $K_p = 1,5$ a $T_n = 0,1s$ ) .....	37
Obr. 43 Aktuální hodnota r52117, nastavení regulátoru $K_p = 2,5$ a $T_n = 0,1s$ ) .....	37
Obr. 44 Požadovaná hodnota r52117, nastavení regulátoru $K_p = 1,5$ a $T_n = 0,1s$ ) .....	38
Obr. 45 Aktuální hodnota r52117, nastavení regulátoru $K_p = 1,5$ a $T_n = 0,1s$ ) .....	38
Obr. 46 Schéma zapojení .....	39
Obr. 47 Požadovaná hodnota r52011, nastavení regulátoru $K_p = 0,1$ a $T_n = 0,03s$ ) .....	39
Obr. 48 Aktuální hodnota r52117, nastavení regulátoru $K_p = 0,1$ a $T_n = 0,03s$ .....	40
Obr. 49 Požadovaná hodnota r52011, nastavení regulátoru $K_p = 0,1$ a $T_n = 0,03s$ ) .....	40
Obr. 50 Aktuální hodnota r52117, nastavení regulátoru $K_p = 0,1$ a $T_n = 0,03s$ .....	40
Obr. 51 Průběh napětí při nabíjení .....	41
Obr. 52 průběh napětí při nabíjení .....	41
Obr. 53 Průběh žádané a skutečné hodnoty pro proud 3A ( $K_p = 0,1$ a $T_n = 0,03s$ ) .....	42
Obr. 54 Průběh proudu 3A – (proudová sonda 100mV/A, rozsah osc. 500mV/dílek) ....	42
Obr. 55 Průběh žádané a skutečné hodnoty pro proud 6A ( $K_p = 0,1$ a $T_n = 0,03s$ ) .....	43
Obr. 56 Průběh proudu 6A – (proudová sonda 100mV/A, rozsah osc. 500mV/dílek) ....	43
Obr. 57 Průběh žádané a skutečné hodnoty pro proud 9A ( $K_p = 0,1$ a $T_n = 0,03s$ ) .....	44
Obr. 58 Průběh proudu 9A – (proudová sonda 100mV/A, rozsah osc. 500mV/dílek) ....	44
Obr. 59 Průběh žádané a skutečné hodnoty pro proud 12A ( $K_p = 0,1$ a $T_n = 0,03s$ ) .....	45
Obr. 60 Průběh proudu 12A – (proudová sonda 100mV/A, rozsah osc. 500mV/dílek) ..	45
Obr. 61 Průběh proudu bez tlumivky (proudová sonda 100mV/A) .....	46

# 1 ÚVOD

Tuto diplomovou práci jsem si vybral, protože mě zaujal její název. Budu se zabývat řízeným usměrňovačem SINAMICS DC MASTER. Mým úkolem bude tento měnič přizpůsobit pro nabíjení akumulátorů. V první části chci definovat základní pojmy měniče Siemens. Zaměřím se také na způsoby ovládání a nastavování měniče. Dále zjistím, jaké jsou aplikační možnosti měniče. V druhé části se budu věnovat akumulátorům a jejich možnosti nabíjení. Především budu popisovat moderní akumulátorové baterie typu LiFePo. V poslední části mám navrhnout nabíječ již zmíněných akumulátorů. Pomoci řízeného usměrňovače SINAMICS DC MASTER zrealizuji požadované nabíjení. V této části popisuji postup nastavení měniče pro tuto aplikaci. Funkčnost aplikace ověřím na akumulátorech.

## 2 MĚNIČ SIEMENS SINAMICS DC MASTER

Firma Siemens nabízí celou řadu měničů, které jsou určené pro široké spektrum výkonu a použití. Výrobce rozděluje měniče dle výstupního napětí. V nabídce najdeme mnoho měničů na střídavé napětí a jeden měnič na stejnosměrné napětí.

Řízený usměrňovač SINAMICS DC MASTER je poslední řadou řízených usměrňovačů od firmy Siemens. Navazuje na výhody svého předchůdce SIMOREG DC Master, a nabízí výhody řady SINAMICS. Pokud se jedná o kvalitu, spolehlivost a funkčnost, tak je srovnatelná s jeho předchůdcem.

Firma Siemens tím dala jasně najevo, že nadále budou nabízet stejnosměrné měniče. Tento měnič se dá využít ve všech aplikacích, kde se v minulosti používaly stejnosměrné měniče. Použití je v celé řadě různých odvětví, jak pro základní, tak pro náročné aplikace. Měniče jsou nabízeny v široké nabídce, tak aby bylo možné garantovat všestranné použití, a navíc Sinamics má celou řadu nových funkcí. Výkonový rozsah je velmi široký, od 6,3 kW do 2508 kW.

### 2.1 VÝHODY SINAMICS DC MASTER [1]

Měnič Sinamics DC Master je členem rodiny SINAMICS. Jednotlivé měniče SINAMICS jsou založeny na společné platformě, a to zejména v oblasti rozhraní, obsluhy ovládání a monitorování. Všechny měniče podporují filozofii TIA a sdílejí společné způsoby strojírenství, komunikace a správy dat s automatizační systémy SIMATIC, Simotion a SINUMERIK od společnosti Siemens. Při použití těchto systémů, může být velmi jednoduše vytvořena automatizační řešení pomocí Sinamics. Zákazníci už tyto platformy znají, protože se sníží náklady na školení, servis, a údržbu.

Měnič musí také splňovat požadavky týkající se rozhraní a výpočetního výkonu pro technologické funkce. K tomu slouží řídicí jednotka pohonu, která se označuje z anglických slov zkratkou CUD. Siemens nabízí možnost zakoupit Standard nebo Advanced CUD jednotku. Je také možné použít dvě jednotky pro zvýšení výkonu pro úkoly s otevřenou smyčkou a ovládání v uzavřeném okruhu. Takže měnič umožňuje optimální přizpůsobení pro širokou škálu požadavků týkajících se řízení.

Se zavedením měniče SINAMICS DC MASTER máme možnost výběru budicího obvodu pro konkrétní požadavky. Měniče stejnosměrného proudu do 60A, mají v sobě integrován budicí obvod, a nelze mít měnič bez buzení motoru. V měniči se nachází jednokvadrantový případně dvoukvadrantový můstek buzení. Pokud požadujeme rychlou změnu budicího proudu, pak je třeba zvolit dvoukvadrantovou sekci buzení. U této možnosti získáme aktivní redukci proudu, a také ve výkonové části se nachází přepětíová ochrana obvodu buzení. Možnost dvoukvadrantového buzení nelze zvolit pro měniče s výstupním proudem do 60A. Hodnoty budicího proudu jsou uvedeny v katalogu. Pokud požadujeme vyšší budicí proud, tak u měničů s jmenovitým proudem 1500A a vyšším, je možné zvolit provedení s 85A namísto budicího proudu 40A.

Měnič také nabízí dostatečný počet volných funkčních bloků, pomoci kterých můžeme vytvořit například logické funkce. Tyto funkční bloky jsou v měniči standartně obsaženy. Můžeme rozšířit pomoci volných funkčních bloků od Drive Control Chart (DCC). Jedná se o nové grafické prostředí, které umožňuje volné programování přímo v měniči. Díky tomu je možnost optimálně přizpůsobit měnič konkrétní aplikaci.


Dodatečné rozšíření vstupů a výstupů jsou také k dispozici, pomoci doplňkových modulů z řady SINAMICS, například TM15 a TM31. Komunikace probíhá pomoci DRIVE-CLiQ rozhraní na rozšiřující kartě Advanced CUD.

Další výhodou měničů je odolnost vůči teplotám pro skladování a přepravu, uvádí se rozsah teplot od -40°C až do +70°C.

## 2.2 DC MĚNIČ [1]

SINAMICS DC Master se skládá z DC měniče a řídicího modulu. DC měnič obsahuje jednotku pro připojení k třífázovému zdroji. Používají se především v oblasti stejnosměrných pohonů s proměnnými otáčkami. Jmenovitý rozsah stejnosměrného proudu měniče je dán od 15 do 3 000A. Navýšení výstupního proudu je možné zvýšit tím, že DC měniče zapojíme paralelně. Pokud je potřeba tak se může zapojit až 6 měničů paralelně.

V závislosti na požadované aplikaci, existují DC měniče pro provoz ve dvou kvadrantech nebo ve čtyřech kvadrantech. Jednotky měniče jsou samostatné a nastavení parametrů se provádí přímo v měniči a není potřebné žádné další zařízení pro parametrizaci. Všechny funkce a řízení monitorovaných funkcí jsou zpracovány mikroprocesorem. Požadované a skutečné hodnoty mohou být zadané buď jako analogové nebo digitální hodnoty.



DC Converter						Control Module
Rated DC current A						
≤ 30	≤ 280	≤ 600	≤ 850	≤ 1 200	≤ 3 000	–
Dimensions (W × H × D) mm						
268 × 385 × 221	268 × 385 × 252	268 × 625 × 275	268 × 700 × 311	268 × 785 × 435	453 × 883 × 505	271 × 388 × 253

Obr. 1 DC měniče a řídicí modul [1]

Řady Sinamics DC MASTER nabízí široký rozsah proudu a napětí. U měničů s jmenovitým proudem do 125A je použito pasivní chlazení. Výhodou pasivního chlazení je bezhlučnost. Chlazení u větších výkonů je realizováno pomocí ventilátoru. U měničů s proudem do 280A je používán integrovaný ventilátor napájený ze zdroje 24V. Pro měniče větších proudů je ventilátor napájen externím jednofázovým nebo trojfázovým napětím.

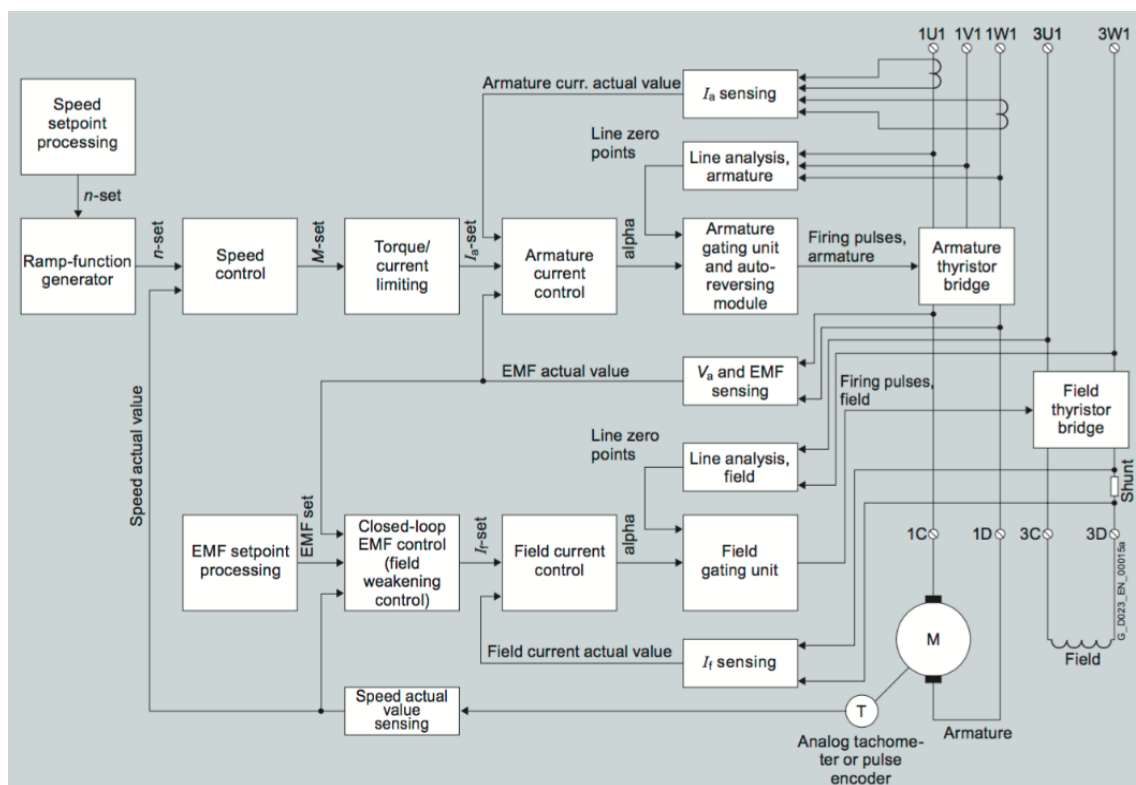
## 2.3 CONTROL MODULE [1] [2]

SINAMICS DC Master Control Module je nástupcem SIMOREG Control module a slouží především k dovybavení a modernizaci stejnosměrných pohonů. Jelikož může nastat situace, kdy je původní měnič zastaralý a nelze již použít pro moderní systémy. Pokud chceme takový systém zmodernizovat a výkonová část je dostatečná a v pořádku, tak můžeme nahradit pouze řídicí část systému řídicím modulem SINAMICS. Získáme tak moderní DC měnič s veškerými výhodami. Řídicí jednotka má malé rozměry a veškeré komponenty jsou snadno dostupné. Řídicí modul se skládá ze dvou částí. V přední části modulu se nachází řídicí karty CUD a v zadní části se nachází výkonové rozhraní a budiče tyristorů. Řídicí modul může být vyroben s ovládacím panelem BOP20 nebo s AOP30. Řídicí modul Sinamics DC Master obsahuje jednofázový polořízený můstek pro buzení stejnosměrných motorů s jmenovitým proudem až 40 A. Výkonová část buzení je realizována pomocí elektricky izolovaných tyristorových modulů.



Obr. 2 Řídicí modul [2]

## 2.4 REGULAČNÍ STRUKTURA MĚNIČE [1]



Obr. 3 Regulační struktura [1]

Zdroj žádané hodnoty rychlosti (speed setpoint) můžeme libovolně zvolit pomocí nastavení parametrů. Lze nastavit hodnotu pomocí analogových hodnot, pomocí integrovaného potenciometru, fixní hodnotou nebo pomocí doplňkových modulů. Hodnota se uvádí v %, přičemž 100% odpovídá maximální rychlosti motoru.

*Ramp-function generator* slouží k upravení hodnoty rychlosti. Dojde-li ke změně požadované hodnoty rychlosti, generátor vytvoří signál s ustálenou rychlostí vzestupu a sestupu. Čas rozběhu a doběhu lze nastavit nezávisle na sobě. Pokud nastavíme tyto časy nulové, tak požadovaná hodnota rychlosti je přivedena přímo do regulátoru otáček.

Blok *Speed control* slouží jako regulátor otáček. Porovnává požadovanou a skutečnou hodnotu otáček. Skutečnou hodnotu dostaneme z čidla otáček motoru. Rozdílem těchto hodnot vzniká odchylka. Regulátor otáček je implementován jako PI regulátor, případně PID regulátor. Všechny parametry regulátoru mohou být nastaveny nezávisle na sobě.

Výstup regulátoru otáček představuje požadovanou hodnotu točivého momentu. Řízení momentu se aplikuje především v provozu odbuzení, aby se omezil maximální točivý moment motoru nezávisle na rychlosti. V bloku *torgue/current limiting* můžeme nastavit limity pro kladné a záporné hodnoty točivého momentu. Pomocí parametrů lze také nastavit omezení proudu. Toto nastavení se používá k ochraně měniče nebo motoru. Opět můžeme nastavit maximální proud motoru pro kladnou i zápornou hodnotu. Výstupem tohoto bloku je požadovaná hodnota proudu  $I_a$ .

Regulátor proudu je tvořen PI regulátorem se zesílením P a integrační časovou konstantou, oba parametry můžou být nastaveny nezávisle na sobě. Složky P nebo I mohou být deaktivovány a vznikne P regulátor nebo I regulátor. Aktuální skutečná hodnota proudu je snímána pomocí proudového transformátoru na třífázové straně a je připojen do regulátoru proudu po analogově digitální konverzi. V regulátoru proudu se porovnává požadovaná a skutečná hodnota proudu. Výstup proudového regulátoru tvoří řídicí úhel  $\alpha$ , který vstupuje do hradlovací a autoreverzační jednotky.

Modul autoreverzační jednotky zajišťuje logický sled všech činností a procesů potřebných ke změně směru točivého momentu. Změna točivého momentu může být také zakázána v případě potřeby.

Hradlovací jednotka generuje spínací impulsy pro tyristory výkonové části synchronizované s napájecím napětím. Synchronizace ve výkonové části je nezávislá na rychlosti motoru a napájení elektroniky. Načasování spínacích impulsů je definována pomocí výstupních hodnot regulátoru proudu. Omezení řídicího úhlu lze nastavit pomocí parametrů. Ve frekvenčním rozsahu od 45 do 65Hz se hradlovací jednotka automaticky přizpůsobí skutečné síťové frekvenci. Výstup tyristorového můstku je připojen ke kotevnímu obvodu motoru.

Měnič také umožňuje regulaci buzení motoru. Na začátku je nastavená požadovaná hodnota EMF - což znamená indukované napětí motoru. Regulátor EMF porovnává žádanou a skutečnou hodnotu indukovaného napětí motoru a vytvoří požadovanou hodnotu proudu pro buzení. Funkce předběžného řízení pracuje paralelně k regulátoru EMF, v závislosti na rychlosti motoru, a také vstupuje do regulátoru EMF. Umožňuje kontrolu odbuzování, která je závislá na EMF. Regulátor EMF pracuje jako PI regulátor, složky P a I mohou být upraveny nezávisle na sobě. Opět může být omezeno minimální a maximální hodnota proudu buzení, kterou lze nastavit. Výstupem regulátoru EMF je budící proud  $I_f$ , který vstupuje do regulátoru proudu. Regulátor proudu pracuje opět jako PI regulátor. Porovnává žádanou a skutečnou hodnotu budícího proudu. Výstupem proudového regulátoru je řídicí úhel  $\alpha$ . Ten vstupuje do hradlovací jednotky, která generuje zapalovací pulzy pro tyristorový můstek budícího obvodu motoru. Celá regulační struktura je uvedena na obr. 3.

## 2.5 DEMONSTRAČNÍ PRACOVNÍSTĚ [1]

Firma Siemens nabízí kompletně vybavený měnič, který je připraven ihned k použití. Takový měnič máme v laboratoři elektrických pohonů. Měnič s příslušenstvím je nainstalován v robustním kufru, který má kolečka s rukojetí a není problém s případnou přepravou. Toto zařízení je nabízeno ve dvou variantách, buď s integrovaným DC motorem (o výkonu 1kW) nebo bez něj a motor je připojen externě. V laboratoři máme měnič bez integrovaného motoru s váhou cca 55kg (dle katalogu). Laboratorní stanoviště obsahuje demonstrační kufr 6RX1800-0SV00, který je dostatečně vybaven pro řešení problematiky stejnosměrných regulovaných pohonů. Hlavním použitím tohoto zařízení je právě demonstrace napájení stejnosměrných

motorů, případně nějaké školení nebo ukázka ovládaní a nastavení měniče. Firma Siemens nabízí i možnost si měnič zapůjčit.



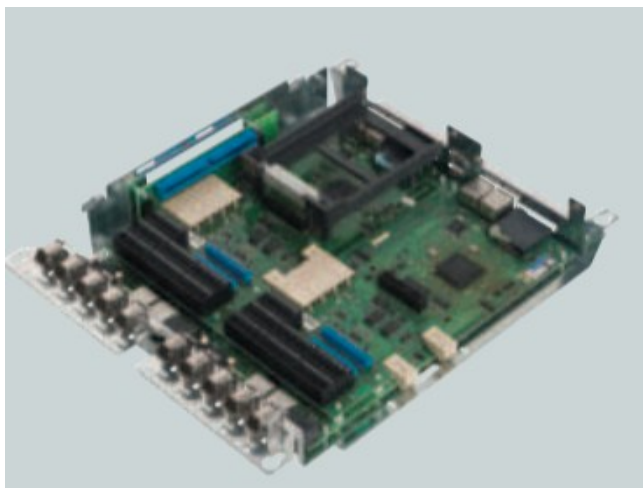
Obr. 4 Demonstrační pracoviště [1]

Základ tvoří 4kvadrantový stejnosměrný měnič s jmenovitým stejnosměrným proudem 30A. Řízený usměrňovač je označen 6RA8018-6FV62-0AA0-Z. Veškeré informace ohledně usměrňovače najdeme v katalogu. Je zde uveden proud budicího 5A. Vstupní napětí usměrňovače je 3x480V a výstupní jmenovité stejnosměrné napětí je 500V. Udávaný výkon tohoto měniče je tedy 15 kW. Při objednání téhle jednotky s rozšířením (dle požadavků zákazníka) je v objednacím čísle uvedena přípona –Z. Přípona specifikuje, co má být obsahem rozšíření. V katalogu při zadání objednáčího čísla *demonstration case*, zjistíme přesně, co je obsahem měniče. U řízeného usměrňovače je vysvětlena přípona  $Z=G00+G10+G20+S01$ . Jedná se o řídicí kartu Advanced CUD umístěnou vlevo, Standart CUD vpravo, komunikační karta CBE20 a paměťová karta umístěna vlevo. Dále je měnič vybaven terminálovými moduly TM15 a TM31, rozšířeným ovládacím panelem AOP30, a tachodynamem. Vstupní napětí demonstračního zařízení je uváděno 3x400V. Ovládání a řízení měniče lze provést více způsoby, buď prostřednictvím operátorského panelu AOP30, analogových vstupů (výstupů) nebo přes sběrnice PROFIBUS a PROFINET.



## 2.6 ŘÍDICÍ KARTY [1] [2]

Řídicí karta CUD je základem řídicí části měniče. Existují dva typy řídicích karet - *Standart* CUD a *Advanced* CUD. Do měniče lze nainstalovat dvě řídicí karty v různých kombinacích. Základní výbava měniče obsahuje pouze standartní řídicí jednotku. Tato jednotka obsahuje 4 digitální vstupy a výstupy, 4 přepínatelné vstupy/výstupy. Dále nabízí vstupy pro teplotní a inkrementální čidlo, také nabízí 7 analogových vstupů a 2 analogové výstupy. Jednotka CUD je vybavena komunikačním rozhraním PROFIBUS, sériovým rozhraním s komunikací USS a paralelním připojením. *Advanced* CUD nabízí navíc dva Drive-CliQ rozhraní a možnost připojit dodatečnou komunikační kartu CBE20. K této řídicí kartě se dá připojit další CUD karta, buď *Standart* nebo taky *Advanced*. V tomto případě dostaneme větší výpočetní výkon a další vstupní/výstupní rozhraní. Z toho vyplývá, že nelze zapojit dvě standartní CUD karty. *Advanced* CUD musí být vždy zapojena v levém slotu měniče.



Obr. 5 CUD *Advanced* a *Standart* [1]

## 2.7 MODULY ROZŠÍŘENÍ [1] [2]

Počet dostupných digitálních vstupů a výstupů lze rozšířit pomocí terminálového modulu TM15. Terminálový modul TM15 komunikuje pouze s řídicí jednotkou *Advanced* CUD pomocí Drive-CLiQ. Na přídatném modulu TM15 je obsaženo 24 obousměrných digitálních vstupů/výstupů řazené do 3 skupin po 8 kanálech. Všechny vstupy jsou vybaveny zelenou LED indikací. Přídatný modul je napájen 24V stejnosměrného napětí a obsahuje 2 konektory Drive-CLiQ. Další rozšíření nabízí terminálový modul TM31. Opět komunikace probíhá pomocí Drive-CLiQ, a napájení je 24V. TM31 nabízí 8 digitálních vstupů a 4 obousměrné digitální vstupy/výstupy. Dále nabízí 2 analogové vstupy, 2 analogové výstupy. Modul poskytuje 2 reléové výstupy s přepínacím konektorem a také možný vstup pro čidlo teploty. Stav terminálu TM31 je zobrazen na LED diodě.



Obr. 6 TM15 a TM31 [1]

Komunikační karta CBE20 lze použít k připojení ke komunikační síti PROFINET IO nebo Sinamics Link. K této komunikační kartě musíme mít řídící kartu *Advanced* CUD. CBE20 nabízí připojení pomocí 4 zásuvek RJ45, což je standardní počítačové síťové připojení. Síťová komunikace lze nastavit více způsoby a není k tomu zapotřebí žádné další externí zařízení. Rychlost připojení je 100Mbit/s v obou směrech a můžeme komunikovat v reálném čase. Jakýkoliv počítač, vybaven síťovou kartou, lze využít pro snadnou komunikaci s měničem pomocí programu STARTER. Funkce SINAMICS Link může být využita pouze s přídatnou paměťovou kartou S01.

Paměťová karta může pracovat s jakoukoliv řídící kartou CUD. Díky této kartě můžeme aktualizovat software měniče a nahrávat knihovny DCC bloků do měniče. Také je možnost nahrát další jazyky pro ovládací panel AOP30. Velká výhoda paměťové karty je možnost záznamu měřeného průběhu. Díky paměťové kartě můžeme přenášet parametry na jiné měniče, případně snadno zálohovat data měniče.

## 2.8 OVLADACÍ PANELE BOP20 A AOP30 [1] [2]

Standardně jsou všechny jednotky rodiny SINAMICS DC MASTER vybaveny základním operátorským panelem BOP20. Základní ovládací panel nabízí zákazníkům všechny potřebné funkce pro uvedení měniče do provozu, také nabízí kontrolu nad strojem a jeho monitorování. BOP20 má podsvícený dvouřádkový LCD displej a 6 ovládacích kláves. Displej zobrazuje pomocí sedmissegmentového zobrazení, může nám zobrazovat chybové hlášení, nastavené parametry a různé další potřebné informace. Pro ovládání měniče je třeba vědět, co znamenají zobrazované kódy na displeji, je nutná znalost manuálu. Napájení BOP20 a komunikace s řídící jednotkou CUD jsou zapojeny prostřednictvím konektoru na zadní straně panelu BOP20.



Obr. 7 Ovládací panel BOP20 a AOP30 [1]

Měnič je možné opatřit pokročilým ovládacím panelem AOP30 - *advanced operator panel*. Tento panel se objednává samostatně jako příslušenství. Ovládací panel je určen pro umístění mimo měnič. AOP30 nabízí velký grafický LCD displej. Oproti BOP20 nabízí uživatelsky příznivější ovládání. Panel je vybaven 26 ovládacími tlačítky včetně numerické klávesnice pro zadávání požadovaných hodnot parametrů. Na ovládacím panelu jsou umístěny 3 LED diody, pro indikaci provozních stavů. Červená signalizuje chybu, žlutá nám říká nějakou výstrahu - upozornění, a zelená, když je pohon v provozu. AOP30 nabízí také funkci nápovědy pro řešení příčin poruch a upozornění. Velká výhoda je snadné ovládání měniče bez znalosti instrukcí a parametrů, protože vše je vysvětleno (zobrazeno) přímo na displeji. Ovládací panel je možné také zaheslovat proti použití neoprávněné osoby. AOP30 komunikuje s měničem přes sériové rozhraní RS485. Panel může komunikovat buď s jednotkou Standard CUD nebo s Advanced CUD. K provozu ovládacího panelu je potřeba napájení 24V, které je k dispozici z jednotky CUD. Pokud chceme panel umístit do vzdálenosti větší než 50m, tak je zapotřebí použít externí napájecí zdroj. Měnič lze ovládat pomocí AOP30 do vzdálenosti 200m. Ovládací panel s námi standardně komunikuje německy a anglicky, a další jazyky jdou nahrát do paměťové karty S01. Panel AOP30 slouží k nastavení parametrů a uvedení pohonu do provozu. Snadná indikace provozních stavů a řešení případných poruch, dále zobrazení žádaných a skutečných hodnot.

## 2.9 STARTER [1]

STARTER je počítačový program určený pro zprovoznění v našem případě stejnosměrných pohonů. Program je uživatelsky příjemný a slouží k optimalizaci a diagnostice pohonů. Můžeme ho provozovat na PC nebo pomocí nějakého programovacího zařízení například STEP7. Komunikace mezi řídicí jednotkou měniče a PC lze vytvořit pomocí sériového rozhraní, PROFIBUS nebo ethernetový PROFINET. Nejlepší připojení je pomocí ethernetu - PROFINET, pokud je měnič touto komunikací vybaven. Lze použít také sběrnici

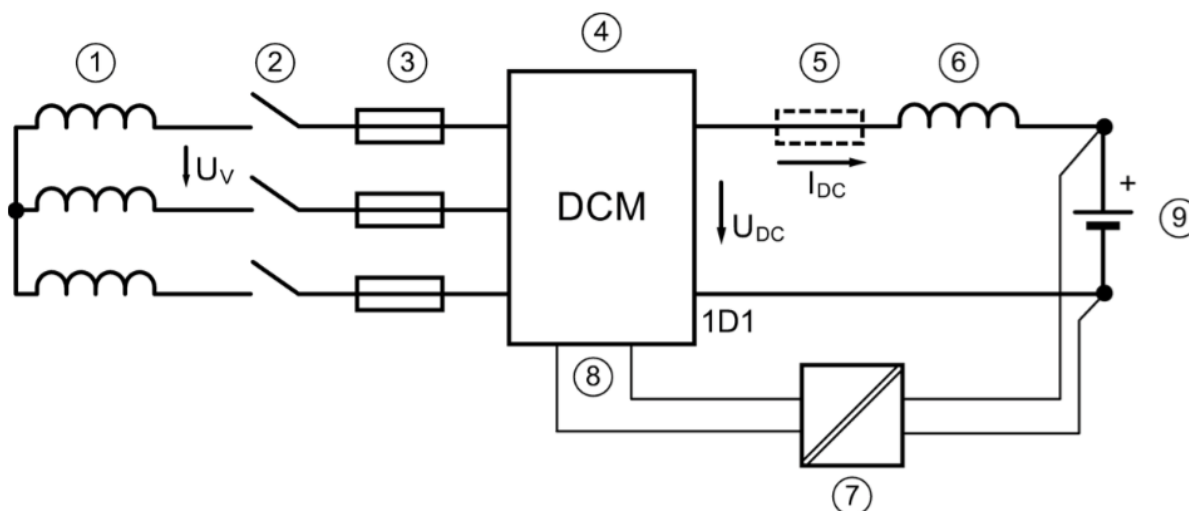
PROFIBUS, ale počítač se musí dovybavit adaptérem na toto rozhraní. Základní parametry můžeme nastavit pomocí průvodce programem. Zkušení uživatelé mohou rychle přistupovat ke všem parametrům pomocí položky - expert list. Software STARTER je k dispozici na DVD dodávaného k měniči nebo je možné ho stáhnout na internetových stránkách firmy Siemens. Požadavky na PC jsou opravdu minimální, takže by to mělo fungovat na všech dnešních konfiguracích počítačů, pokud nebude dělat problémy novější Windows. Při instalaci programu do PC je třeba počítat s delší dobou instalace.

## 2.10 APLIKACE MĚNIČE [1]

Měnič SINAMICS DC Master se používá především k napájení a řízení stejnosměrných motorů. V závislosti na požadované aplikaci, jsou pořád stejnosměrné pohony velmi používané a cenově výhodné řešení pohonu. Stejnosměrné pohony mají mnoho výhod, především pokud jde o spolehlivost, provozní vlastnosti a snadné ovládání. Mezi výhody stejnosměrných pohonů patří velký moment při nízkých otáčkách, široký rozsah regulace otáček, nízké nároky na prostor a hmotnost, a především spolehlivost. Stejnosměrné měniče mají pořád uplatnění i v průmyslových oblastech. Typickými aplikacemi jsou navíječky, odstředivky, jeřáby a výtahy, tiskařské stroje, vleký a lanovky, obráběcí stroje. Na dodávaném DVD k měniči jsou uvedené speciální aplikační možnosti využití DCM.

### 2.10.1 Měnič jako regulátor napětí [3]

Měnič SINAMICS DCM se používá především k napájení a řízení stejnosměrných motorů. DCM také umožňuje, aby byl použit jako nastavitelný zdroj napětí. V tomto případě není potřeba jednotka buzení motoru. Příklad, jak lze používat měnič jako regulátor napětí je uvedeno na obr. 8.

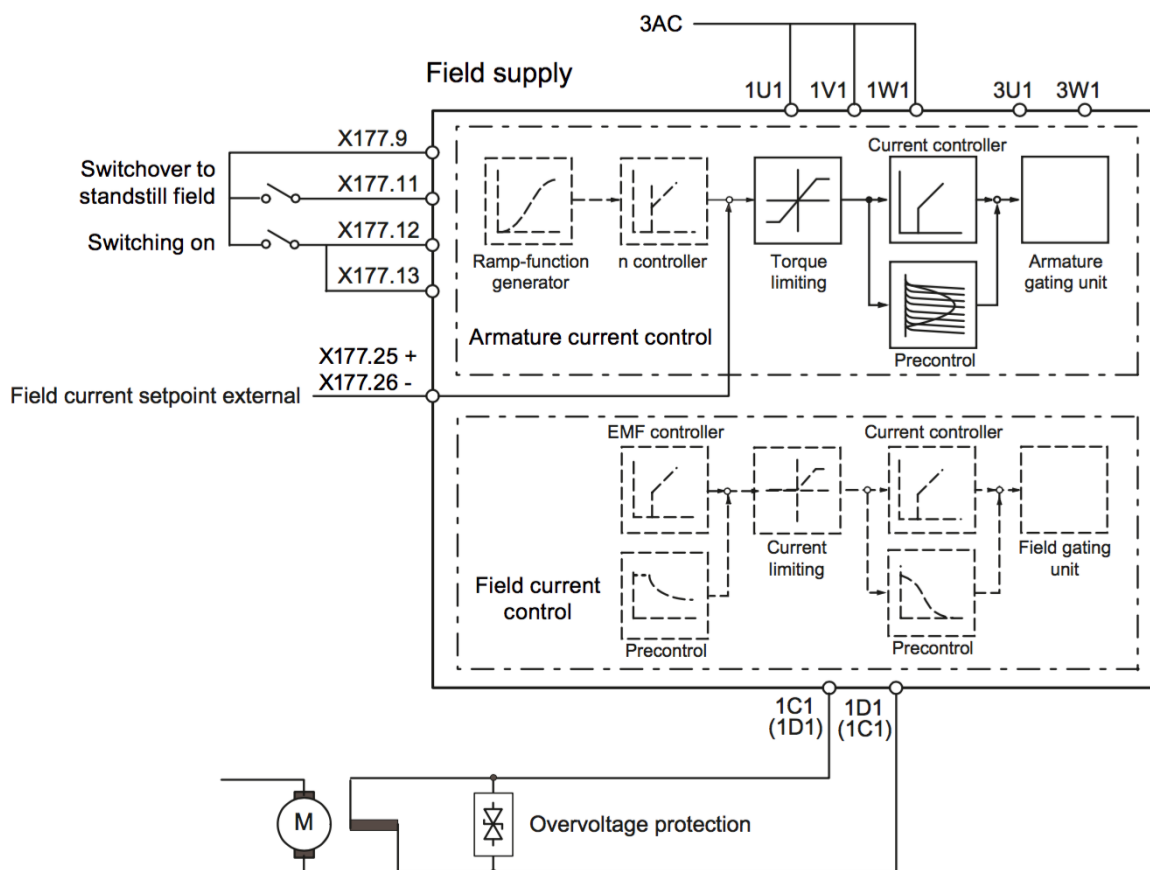


Obr. 8 Schéma regulátoru napětí [3]

Uvedené schéma zapojení uvedené na Obr. 8 je očíslované. Na začátku je trojfázová napájecí síť označena číslem 1. Napájecí síť je možné odpojit pomocí síťového stykače - 2, což se provádí bezpečnostním tlačítkem stop umístěným na měniči. Číslo 3 a 5 nám označuje pojistky pro střídavou a stejnosměrnou část, konkrétní hodnoty pojistek se dají dohledat v katalogu. Měnič DCM má na vstupu 3 fázové napětí. Podle velikosti sdruženého napětí  $U_V$  se dá vypočítat maximální hodnota výstupního stejnosměrného napětí  $U_{DC}$ . Pro dvoukvadrantový režim, to znamená pouze nabíjení zátěže, je maximální hodnota napětí dána pomocí vztahu  $1,2 \times U_V$ . V případě čtyř kvadrantového režimu je vztah  $1,05 \times U_V$ . Tyhle údaje se dají najít v katalogu měniče, případně jsem uvedeny v manuálu téhle aplikace. Před akumulátorem se nachází tlumivka, která se pro velikost proudu 30A doporučuje 50mH. Tlumivka se používá z důvodu malého vnitřního odporu akumulátoru a slouží k vyhlazení proudu. V případě instalace bez tlumivky, by vzniklo velké proudové zvlnění. Na schématu je také uveden izolační zesilovač - 7, který je připojen k akumulátoru, slouží k převodu napětí do řídicích obvodů. Napětí jsou od sebe galvanicky odděleny. Výstup tohoto zesilovače je 0-10V, a je přiveden do analogových vstupu DCM a monitoruje aktuální napětí na akumulátoru. Maximální napětí na baterii nastavíme v měniči pomocí parametru (p50741). Dále parametr p50083 nastavíme na hodnotu 1, tím nastavíme analogový vstup jako aktuální hodnotu otáček. Regulátor otáček nyní bude pracovat jako regulátor napětí. V regulátoru otáček lze nastavit omezení maximálního nabíjecího/vybíjecího proudu.

### 2.10.2 DCM jako jednotka buzení [4]

Měnič SINAMICS DCM se běžně používá k napájení kotvy a buzení stejnosměrných motorů. V měniči je integrována jednotka buzení, která poskytuje jmenovitý budicí proud až 40A, podle specifikace daného měniče. Existuje volitelné příslušenství, které poskytuje proud buzení až 85A. Jestliže požadujeme vyšší budicí proud, než může měnič dodat, pak musíme využít tuhle aplikaci. Měnič SINAMICS DCM je zapojen tak, že napájení kotvy se používá k buzení motoru a buzení obsažené v měniči není použito. Tahle aplikace má několik způsobů zapojení. Měnič je použit pouze pro buzení motoru, a hodnota budicího proudu je trvale nastavena v parametrech měniče a buzení nejde nijak ovládat. Z tohoto důvodu se spíše používá druhá varianta zapojení, která je uvedena na obr. 9. Zde je možné budicí proud ovládat externě pomocí potenciometru. Další zapojení jsou s dvěma měniči, kde jeden slouží k napájení kotvy a druhý k buzení motoru.



Obr. 9 blokové schéma aplikace buzení motoru [4]

Na uvedeném schématu na obr. 9, vidíme zapojení měniče. Můžeme si všimnout bloků, které jsou čárkované, to znamená, že nejsou v tomto případě aktivní. Zvolená hodnota budícího proudu, kterou můžeme nastavovat, vstupuje přímo do bloku omezení momentu. Spouštění měniče se provádí pomocí přepínačů zobrazených na schématu. Nastavení měniče pro takovou aplikaci se provádí změnou parametru v programu STARTER. Přesné nastavení je uvedeno v manuálu této speciální aplikace. V zapojení si můžeme všimnout přepět'ové ochrany, která je nutná pro tuhle aplikaci. Pokud dojde k vypnutí měniče, tak zbývající energie obsažena v buzení vytvoří přepětí, které by mohlo zničit tyristory v jednotce DCM. Přepět'ová ochrana má za úkol omezit napětí na definovanou hodnotu a rozptýlit energii v této oblasti.

### 3 AKUMULÁTORY [5] [8]

Akumulátory považujeme za zdroje elektrické energie, které mají vlastnost energii vydávat, ale také akumulovat nebo-li uchovávat. Z tohoto důvodu je nazýváme akumulátory. Základním principem akumulátoru při vybíjení je přeměna chemické energie na elektrickou. V případě nabíjení se mění elektrická energie na chemickou.

LiFePO<sub>4</sub> akumulátory, někdy také označované jako LFP nebo lithium-železo-fosfátové akumulátory, jsou speciálním příkladem lithium-iontových akumulátorů. Anodou je klasický uhlík, jako katodový materiál je však namísto klasického oxidu kovu (obvyklém v lithium-iontových bateriích) fosforečnan, v tomto případě fosforečnan lithno-železnatý (LiFePO<sub>4</sub>). LFP jsou charakteristické vysokou hustotou energie, což je energie akumulátoru vztažená na jejich hmotnost (Wh/kg). Energie se většinou vyjadřuje ve watthodinách a jedna watthodina odpovídá 3600 joulům. Další výhodou je vysoké nominální napětí a absencí paměťového efektu. Oproti klasickým lithium-iontovým článkům mají LFP akumulátory několik podstatných výhod. Jsou schopné dodávat stabilní odběrový proud v širokém teplotním rozmezí (udává se -20 - 80 °C), netrpí samovybíjením, nebo je udáváno jako velmi malé (rychlost samovybíjení samozřejmě podobně jako u klasických článků závisí především na teplotě, obvykle se však udává jako 1% nominované kapacity akumulátoru za měsíc nečinnosti, což je zhruba desetina úbytku kapacity, porovnáno s klasickými akumulátory). Nemají paměťový efekt (lze je tedy nabíjet v jakémkoliv stupni vybití bez dramatického dopadu na jejich životnost) a jsou schopné dodávat nárazově proud, který odpovídá až desetinásobku jejich kapacity (některé zdroje udávají až dvacetinásobek). Jejich největší předností je však pravděpodobně jejich životnost, která se pohybuje v rozmezí 4000-8000 cyklů (kde se jako jeden cyklus označuje vybití a opětovné nabití akumulátoru). V reálném zapojení životnost LFP akumulátorů podobně jako u ostatních typů akumulátorů závisí především na hloubce vybíjení, tedy na jakou minimální hodnotu napětí akumulátor vybíjíme (s větším vybíjením je spojená zkrácená životnost článku). Obvykle se udává životnost LFP akumulátorů okolo 5000 cyklů při „klasickém“ vybíjení na 80 %, teoreticky může tvořit až desítky tisíc cyklů při velmi šetrném užívání. Na rozdíl od klasických olověných akumulátorů LFP akumulátory také „stárnou“ lineárně, tzn. jejich kapacita se snižuje stále stejným a předvídatelným tempem, a to i ke konci jejich životnosti. U klasických baterií nastane po překročení určitého množství cyklů hluboký propad jejich kapacity. LFP akumulátory lze nabíjet velmi vysokými proudy, lze je také zcela vybit bez dramatického dopadu na jejich životnost (nelze to samozřejmě dělat neustále). Jako velká výhoda LFP akumulátorů se udává jejich bezpečnost, nehrozí tedy jejich samovolné přehřátí, „vytečení“ či dokonce exploze při vyšších teplotách. Při vysokých teplotách (máme na mysli teploty mnohem vyšší než deklarované pracovní) LFP akumulátory pouze selžou a přestanou dodávat proud. Bezpečnost LFP baterií oproti klasickým článkům vyplývá z podstaty chemického složení jejich katody, tvořené fosforečnanem lithno-železnatým. Chemická vazba Fe-P-O je mnohem pevnější než Co-O, takže při extrémně rychlém vybíjení (například při zkratování elektrod článku) a s tím spojeným rapidním ohřevem článku je daleko těžší roztržení této chemické vazby a uvolnění plynu (kyslíku), jehož prudký vývin může být u klasických článků příčinou roztržení obalu baterie nebo dokonce exploze.

Nevýhodou LFP článků je například jejich citlivost na přebíjení, která je mnohem větší než u klasických akumulátorů. Každá baterie obsahující LFP články musí obsahovat tzv. balancovací moduly, které dohlíží na stejnoměrné nabití všech zapojených článků. Balancovací moduly mohou být buď pasivní nebo aktivní. Pasivní moduly „hlídají“ napětí článku, a pokud by při nabíjení došlo k přebíjení, přebytečný proud se odvede do kontrolních odporů. Aktivní balancovací moduly porovnávají napětí jednotlivých článků v baterii a „předají“ energii z více nabitých článků do méně nabitých. Aktivní moduly jsou samozřejmě energeticky efektivnější než pasivní moduly. Balancovací moduly samozřejmě navyšují cenu LFP baterií, která je oproti například klasickým akumulátorovým bateriím přibližně čtyřnásobná. Někdy se LFP baterie doplňují celkovým kontrolním a monitorovacím obvodem, který brání jak jejich přebití tak hlubokému vybití. Mezi další nevýhodu, což se ostatně týká všech článků obsahujícím lithium, patří závislost jejich výroby na tomto kovu, světové zásoby lithia jsou samozřejmě omezené a rozšíření LFP baterií by tedy potenciálně ohrozilo budoucí nedostatek lithia anebo by se zvýšila jeho cena.

LFP články mají poměrně vysoké nominální napětí 3,2 V (například obvyklé AA lithiové baterie mají 1,8 V), jejich napětí se však reálně pohybuje v rozmezí 3,0 – 3,3 V podle typu baterie a výrobce. LFP baterii lze nabíjet klasickou nabíječkou, používanou k nabíjení olověných akumulátorů, je nutné samozřejmě zachovat opatrnost, některé moderní nabíječky se například automaticky přepínají do režimu desulfatace (oživování olověných akumulátorů), nabíjecí proud by také neměl překročit hodnotu kapacity LFP akumulátoru.

Lze reálně očekávat, že LFP akumulátory v budoucnu nahradí například klasické olověné akumulátory. Oproti těm mají ještě další výhodu a tou je absence toxického těžkého kovu, jsou tedy šetrnější k životnímu prostředí. Oproti olověným akumulátorům se také mnohem rychleji nabíjejí. Celkově se jedná o poměrně mladou technologii, která byla vyvinuta „teprve“ v roce 1996 a pro několik dalších let její využití zůstalo pouze v teoretické rovině, především díky velmi malé vnitřní vodivosti článku. Tento technický problém byl vyřešen až „naředěním“ částic  $\text{LiFePO}_4$  dalšími materiály, především sloučeninami na bázi uhlíku. Zjistilo se, že vodivé vlastnosti materiálu se výrazně zlepší zmenšením částic nebo potažením částic  $\text{LiFePO}_4$  organickými sloučeninami. Dále se materiál uměle „znečistil“ atomy zirkonu, niobu a hliníku, tato technologie byla vyvinuta na MIT v roce 1996. Tyto „upravené“ baterie jsou dnes již relativně běžně využívány na komerčním trhu především v leteckém a automobilovém průmyslu. Vývoj v této oblasti samozřejmě nekončí a ubírá se směrem zaměřeným především na potahování fosfátových částic materiály na bázi silikátů. Díky této technologii se ionty uvnitř materiálu mohou pohybovat ještě rychleji a doba plného nabití takového článku, je pouhých několik desítek sekund. Tyto články jsou zatím ve fázi testování.

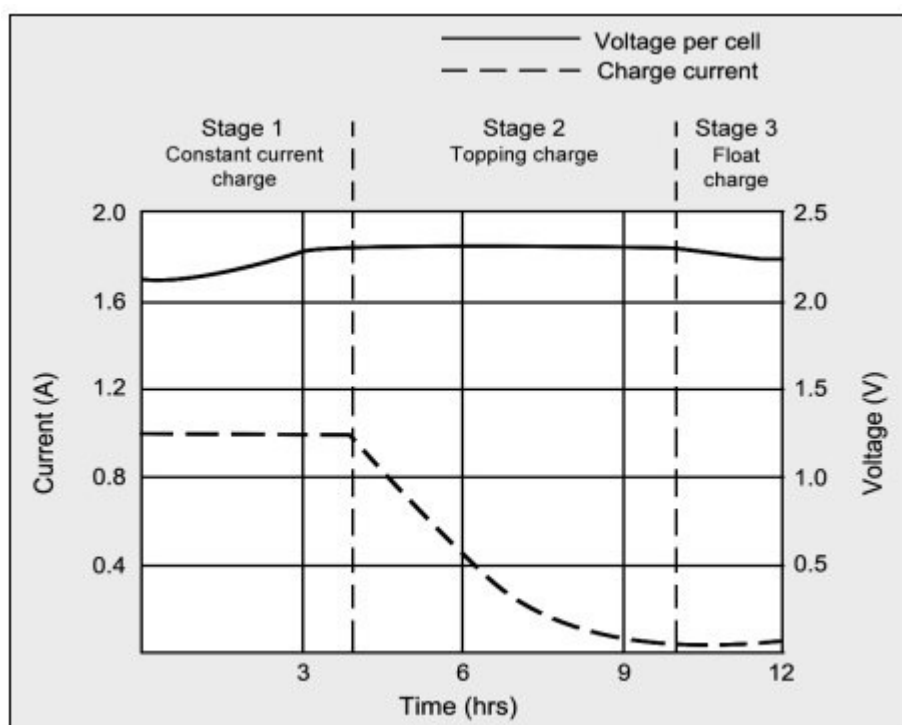
### 3.1 OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY [6] [7] [8] [9] [10] [11]

Průměrná autobaterie má kapacitu přibližně 48 Ah, což znamená, že plně nabitá dokáže (alespoň teoreticky) dodávat proud 1A po dobu 48 hodin, 2A po 24 hodin atd. Běžná nabíječka obvykle nabíjí proudem 2A, to tedy znamená, že plně vybitá baterie se nabíjí 24 hodin. Na trhu jsou samozřejmě k dispozici různé druhy nabíječek s volitelnými nabíjecími proudy zpravidla



v rozmezí 2-10 A. Rychlé nabíjení vysokými proudy však může vést k poškození olověných článků uvnitř baterie. Plně nabitá baterie, bez dobíjení z alternátoru, by olověná baterie teoreticky „zvládla“ dodávat energii startéru přibližně deset minut (startér motoru odebírá nárazově až stovky ampér), nebo napájet čelní světla po dobu 10-12 hodin. Autobaterii není samozřejmě vhodné zcela vybit (tzv. flat discharge), v běžných podmínkách zapojení v automobilu se toto zpravidla nestává, neboť je konstantně dobíjena z alternátoru. Pokud je třeba autobaterii dobít, používá se zpravidla nabíjecí stejnosměrný proud 3-6 A, nabíječky samozřejmě disponují transformátorem a měničem, který převede klasické napětí 220 V na požadovaných 12 V a příslušný proud. U většiny typů nabíječek si lze zvolit mezi „pomalým“ a „rychlým“ nabíjením, kdy v rychlém režimu se baterie nabíjí zpravidla výše zmiňovaným proudem 6 A. Pro případ nouzového nabití autobaterie, která postačí alespoň na nastartování motoru, dnes existují vysoce výkonné „kapesní“ lithum-iontové baterie, které se připojí přes nabíjecí kabely k autobaterii a umožní jednorázové nastartování.

Olověné akumulátory by se měly nabíjet ve třech následných fázích: nabíjení konstantním proudem, dobíjení a udržovací nabíjení. Během první fáze dojde k největšímu nabití baterie a tvoří přibližně polovinu nabíjecího času. Během druhé fáze se nabíjí o něco nižším proudem a baterie se nabije téměř do úplné kapacity, poslední část pak slouží ke kompenzaci ztrát způsobených samovolným vybíjením. V průběhu první fáze se baterie nabije přibližně na 70% své kapacity, druhá (dobíjecí) fáze je důležitá pro zachování dobrého stavu baterie.



Obr. 10 Fáze nabíjení olověného akumulátoru [11]

**Fáze 1:** Vyrůstá napětí při konstantním proudě, až do bodu, kdy napětí dosáhne vrcholu.

**Fáze 2:** Proud prudce klesá, napětí zůstává konstantní, plného nabití se dosáhne, když proud klesne k nule.

**Fáze 3:** Napětí je sníženo na tzv. „udržovací napětí“.

Baterie se považuje za plně nabitou, když nabíjecí proud klesne na velmi nízkou hladinu, v tomto okamžiku nabíječka sníží nabíjecí napětí na udržovací hodnotu, které pouze kompenzuje ztráty samovybíjením.

Přechod z fáze 1 do fáze 2 nastává, když baterie dosáhne mezní hodnoty napětí. Nabíjecí proud se začne snižovat a úplného nabití se dosáhne, když nabíjecí proud klesne přibližně na 5% deklarované kapacity baterie (v Ah). Správné nastavení mezní hodnoty napětí je velmi důležité a pohybuje se zpravidla v rozmezí 2,3-2,45 V na jeden článek. Správné nastavení tohoto napětí je vždy kompromis, neboť na jedné straně je žádoucí dosáhnout co nejvyššího napětí a vyhnout se tak například sulfataci baterie, na druhou stranu přebíjení baterie vede ke korozi především kladné elektrody, kde dojde k elektrolyze (tedy rozkladu vody v elektrolytu na vodík a kyslík). Dalším faktorem, který je nutno brát v úvahu je teplota prostředí, neboť při vyšších teplotách je vhodné počítat s o něco vyšším mezním napětím a naopak. Moderní nabíječky disponují teplotními senzory, a upraví příslušné napětí na optimální hodnotu pro dosažení efektivního nabíjení. Nabíjecí teplotní koeficient pro „klasický“ olověný akumulátor je  $-3\text{mV} / 25^\circ\text{C}$ . Pokud považujeme  $25^\circ\text{C}$  za střední hodnotu, nabíjecí napětí by se mělo zvýšit o 3 mV o každý stupeň pod tuto teplotu a naopak o stejnou hodnotu snížit o každý stupeň nad tuto teplotu. Pokud nabíječka tuto funkci neumožňuje, je lepší (z bezpečnostních důvodů) zvolit napětí menší. Nerovnoměrné rozložení napětí na jednotlivých člancích způsobuje problémy zvláště u větších akumulátorů, náhlé výkyvy napětí mohou způsobit přebíjení daného článku, které způsobí vývin vodíku elektrolyzou a poškození elektrody.

V momentě, kdy je baterie plně nabitá (konec fáze 2), se nedoporučuje nechávat baterii při daném napětí déle než 48 hodin a mělo by se přejít na udržovací napětí. To je obzvláště důležité pro uzavřené baterie, které mají menší toleranci k přebíjení. Doporučené udržovací napětí pro většinu olověných akumulátorů se pohybuje v rozmezí 2,25-2,75 V na článek. Ne všechny nabíječky mají funkci udržovacího napětí, pokud je zřejmé, že napětí zůstává konstantní a neklesne pod 2,3 V, je vhodné nabíjení nejdéle po 48 hodinách ukončit. Jak již bylo řečeno, nabíjení akumulátorových baterií v automobilech se provádí zřídka, neboť jsou konstantně dobíjeny z alternátoru, nabití se doporučuje, pokud se autobaterie nebyla používána déle než půl roku, respektive rok u modernějších akumulátorů typu AGM (AGM typ olověných akumulátorů funguje na podobném principu jako „klasický“ typ, elektrolyt – kyselina sírová však není volná, ale je napuštěná do porézního materiálu na bázi skelné vaty). Stárnutí baterie představuje problém z hlediska nabíjení, zvláště pak při nastavování správné hodnoty udržovacího proudu, neboť každý článek olověné baterie se s časem chová trochu jinak. Protože jsou články zapojeny sériově, každým prochází stejné nabíjecí napětí a je téměř nemožné individuálně kontrolovat napětí na jednotlivých člancích během procesu nabíjení, respektive je obtížné rozpoznat, kdy je článek plně nabitý. Zatímco některé z článků se přebíjí, ostatní zůstávají nenabitě a může dojít k jejich postupné sulfataci. Tento nedostatek se u moderních nabíječek kompenzuje vyvažovacími moduly, které kontrolují napětí v jednotlivých člancích.

Pokud se je baterie neustále vybíjena a nenabije se na svou plnou kapacitu, dochází k tzv. sulfataci (to se stává například v autobateriích v autech, které se používají jen k „popojíždění“ a baterie se nestačí během tohoto provozu plně dobít). Sulfatace olověných článků je usazování krystalků síranu olovnatého na olověných člancích baterie, dochází k ní tak, že olovo a oxid olovičitý, které jsou součástí elektrod, reagují s kyselinou sírovou přítomnou v elektrolytu. Síran olovnatý vzniká nejprve v podobě jemného amorfního nánosu na povrchu elektrody a

poměrně snadno se během nabíjení přemění zpět na původní složky, tedy olovo, oxid olovičitý a kyselinu sírovou. Postupem času, zvláště pak díky neúplnému dobíjení se část tohoto amorfního materiálu přemění na stálejší krystalickou formu, snižuje se tedy obsah olova v elektrodách a zmenšuje se jejich plocha a dochází ke snižování kapacity baterie a také se dramaticky zvyšuje doba nabíjení. V extrémním případě mohou tyto krystaly narušit integritu elektrod a dojde k jejich popraskání a k nenávratnému poškození baterie. Přestože sulfatace je do určité míry vratná a některé autobaterie mají tzv. desulfatační režimy, obecně se soudí, že se jedná o nevratný proces a nejlepším řešením je prevence, tedy správné nabíjení. V literatuře je často zmiňováno takzvané „pulzní nabíjení“ olověných akumulátorů za účelem omezení sulfatace. Výsledky ale nejsou jednoznačné a názory odborníků na účinnost této metody se liší. Pokud by existovala metoda, která by dokázala kvantifikovat přesný rozsah sulfatace a podle toho by se upravily příslušné pulzy, tato metoda desulfatace by byla účinná, toto je však v praxi jen obtížně proveditelné, naopak hrozí spíše poškození baterie.

V praxi se baterie většinou dobíjí udržovacím proudem, což funguje poměrně dobře. Další metodou dobíjení je tzv. hysterezní nabíjení, při kterém se odpojí udržovací proud, pokud se baterie právě nepoužívá, pouze se čas od času průběžně dobije, aby se nahradily ztráty způsobené samovybíjením.

Olověné akumulátory se musí vždy skladovat nabitě, i pokud se zrovna nepoužívají. Jak již bylo řečeno, u běžných typů akumulátorů je vhodné je přibližně každých šest měsíců dobít udržovacím proudem, tak aby jejich napětí nekleslo pod 2,05 V na článek, což by mohlo vést k nežádoucí sulfataci. Provádí se průběžná kontrola napětí, které by mělo být přibližně 2,1 V při 25 °C, což svědčí o nabití na přibližně 90 % kapacity. Často opomíjeným úkonem při údržbě olověných akumulátorů je pravidelné doplňování vody. Elektrolyt baterie je tvořen roztokem kyseliny sírové s vodou, frekvence doplňování samozřejmě závisí na způsobu užívání baterie, teplotě okolí a způsobu nabíjení. Obecně platí, že elektrody by měly být zcela ponořené v elektrolytu, exponované části elektrod snadno podlehnou oxidaci, což sníží kapacitu článku.

### 3.2 LITHIOVÉ ČLÁNKY A LFP AKUMULÁTORY [12] [13] [14] [15] [16]

Především díky poměrně vysoké energetické hustotě postupně nahrazují lithium iontové akumulátory jak olověné tak i NiCd a NiMH články. Původně se jako materiál záporné elektrody využívalo samotné lithium, neboť žádný jiný prvek v tomto ohledu nedosahuje tak vysokého záporného potenciálu. Použití lithia s sebou samozřejmě neslo řadu problémů, z nichž největší byla jeho velká reaktivita. Kovové lithium reaguje se vzdušnou vlhkostí, což samozřejmě dříve často vedlo ke zkratu a znehodnocení baterie. V dnešní době se již prakticky nepoužívá s výjimkou primárních článků. Elementární lithium bylo nahrazeno lithnými solemi. Lithné ionty se zabudovávají do jiných aktivních materiálů, příkladem je LiCoO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, LiNiO<sub>2</sub> nebo LiFePO<sub>4</sub>.

V NiCd článcích se zpravidla používá jako materiál záporné elektrody oxid-hydroxid nikelnatý. NiCd články bývaly nejvíce rozšířenými galvanickými články, než byly nahrazeny. Poskytovaly sice dobrou kapacitu a vysoký počet nabíjecích cyklů, ale byly výrazně dražší vzhledem k použitým materiálům.

Jak již bylo řečeno, zápornou elektrodu lithiových článků tvoří grafit v různých formách. Byly prováděny rozsáhlé výzkumy a testování materiálů pro kladné elektrody lithio-iontových článků, které se z pochopitelných důvodů soustředily na materiály s vysokou energetickou hustotou. Jedním z prvních objevených materiálů, který našel praktické upotřebení, byl oxid lithno kobaltnatý -  $\text{LiCoO}_2$ , který dosahuje provozního napětí 3,9 V vůči lithiu. Tento materiál se vyznačuje vysokou hmotnostní a objemovou specifickou kapacitou. Hledání a design materiálů pro kladné elektrody s vysokou energetickou hustotou pro lithio-iontové baterie je samozřejmě těžký úkol. Výzkumy se zaměřují na hledání materiálů s co nejvyšším napětím a vyšší kapacitou než původní  $\text{LiCoO}_2$ . Dalším slibným materiálem byl oxid  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  se spinelovou strukturou, dosahující napětí 3,95- 4,10 V s teoretickou kapacitou 149 mAh/g. Článek z tohoto materiálu byl původně zamýšlen jako alternativa k  $\text{LiCoO}_2$ , nicméně se zjistilo, že dosahuje nižší kapacity. Další zvažovanou cestou byla řada dalších interkalačních materiálů založených na oxidech manganu. Tyto články dosahovaly napětí 4,75 V tj. zhruba o 0,8 V vyšší hodnota napětí než u  $\text{LiCoO}_2$ , přičemž nabíjecí kapacita je 135 mAh/g. Zajímavou skupinou materiálů, jsou materiály na bázi olivínu. Nejslibnějším z těchto materiálů se ukázal být fosforečnan  $\text{LiFePO}_4$ , mezi jehož výhody patří, jak již bylo zmíněno, že je prakticky netoxický, snadno dostupný a levný.

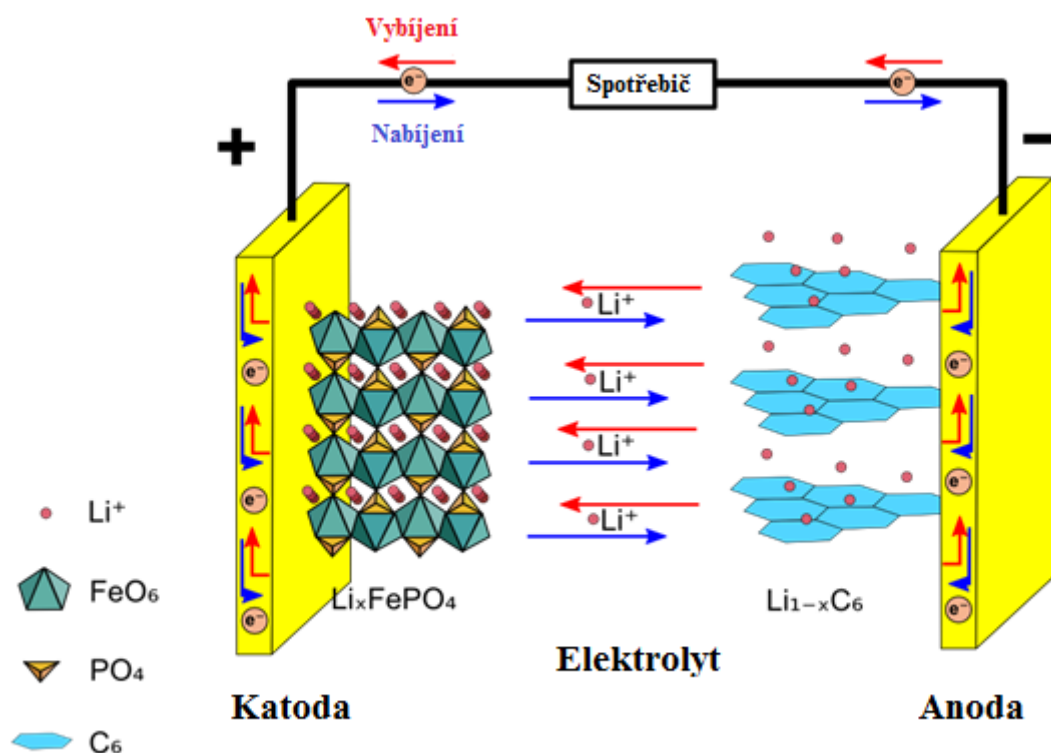
Experimentálně se zjistilo, že lithné ionty se ze struktury materiálu uvolňují poměrně snadno, pokud v ní nejsou obsaženy ionty manganu, niklu nebo kobaltu jako v předchozích typech elektrodových materiálů, což příznivě ovlivňuje vlastnosti elektrody. Tedy uvolnění lithných iontů z  $\text{LiFePO}_4$  nastane při rozpouštěcí reakci s pohybem dvoufázového rozhraní, ve kterém anion  $\text{FePO}_4^-$  ustanoví 3,43V oproti lithiu. S tímto typem materiálu můžeme (alespoň teoreticky) dosáhnout specifické kapacity až 175 mAh/g. Experimentálně se také zjistilo, že interkalace lithia do materiálu zvyšuje jeho reverzibilní schopnosti a tím zvyšuje počet nabíjecích cyklů. Navíc má tento materiál mnohem menší tendenci uvolňovat kyslík při přebíjení a reagovat s organickými rozpouštědly, které se používají jako elektrolyt v těchto typech baterií. Protože mají vrstevnatou strukturou, jsou také bezpečnější při vyšších teplotách.

Tab. 1: Srovnání elektrodových materiálů [13]

<b>Materiál</b>	<b>Kapacita</b>	<b>Pracovní napětí</b>	<b>Výhody nebo nevýhody</b>
$\text{LiCoO}_2$	155	3,88	nejpoužívanější, drahý kobalt
$\text{LiNi}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_2$	190	3,70	přijatelná cena
$\text{LiNi}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$	220	3,76	nejvyšší specifická kapacita
$\text{LiNiO}_2$	200	3,55	nejvíce exotermicky rozkladatelný
$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	120	4,00	Mn je levný, málo toxický, nejméně exotermicky rozkladatelný
$\text{LiFePO}_4$	160	3,30	Použití při vysokých teplotách, vyšší bezpečnost, dobré skladovací vlastnosti

Jak již bylo řečeno LFP baterie je ekologičtější v porovnání s ostatními články, neboť neobsahuje těžké kovy jako olovo nebo kadmium. Katoda je tvořena fosforečnanem železnato-lithným a anoda je složena z uhlíku, elektrolyt se absorbuje v separátorech a na deskách,

speciální jednosměrný bezpečnostní ventil umožňuje únik nahromaděných plynů. Podstatnou výhodou LFP článků je jejich podstatně delší životní cyklus než u jiných lithiium iontových baterií. LFP články také mají konstantní vybíjecí napětí, které zůstává stejné během celé doby vybíjení a to přibližně na hodnotě 3.2 V, až do úplného vybití baterie. Vybitá baterie tedy dodává prakticky plný výkon po celou dobu své činnosti, což v praxi umožňuje použití jednodušších obvodů pro regulaci napětí. Nominální napětí článku je 3.2 V, proto pro dosažení napětí 12.8V postačí sériově zařadit do baterie čtyři články oproti například šesti, které byli potřeba u olověných akumulátorů.

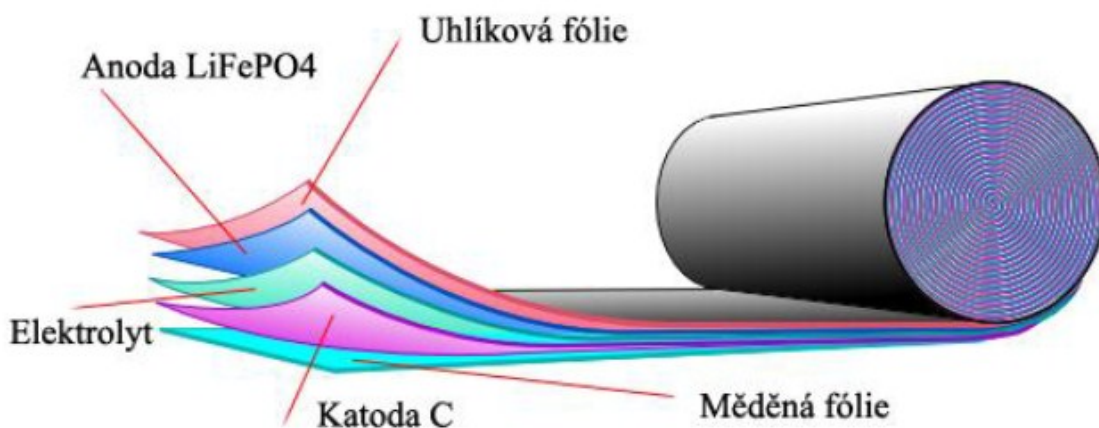


Obr. 11 Vnitřní uspořádání LFP baterie [17]

Přes mnohé výhody, které LFP baterie přináší, je při jejich používání a především nabíjení nutno neopomenout několik důležitých opatření. LFP baterie jsou velmi citlivé na přebíjení. I relativně malé přebíjení během nabíjení může vést k trvalému znehodnocení článku. Z tohoto důvodu je nutné používat ochranný systém, popřípadě LFP baterie nabíjet speciální nabíječkou se zabudovaným kontrolním mechanismem. LFP baterie jsou také velmi citlivé na případné zkratování, neboť dokáží nárazově vydat mnohem větší proud než ostatní články, je tedy třeba dbát na důkladnou izolaci. Podobně jako například olověné akumulátory se musí s LFP bateriemi manipulovat opatrně neboť například při jejich obrácení by mohlo dojít k vylití elektrolytu (i když v tomto případě se nejedná o kyselinu sírovou ale o organické rozpouštědlo). Pokud je nutno složit několik baterií do série, je nutné dbát na to, aby se jednalo o stejné typy článků (stejný typ a výrobce), v tomto případě je obzvláště nutno dbát aby byl celý článek „ochráněn“ proti nerovnoměrnému nabití, kdy u některých částí již dochází k přebíjení, zatímco jiné ještě nedosáhly plné kapacity. Obecně se nedoporučuje paralelní zapojení článků, neboť

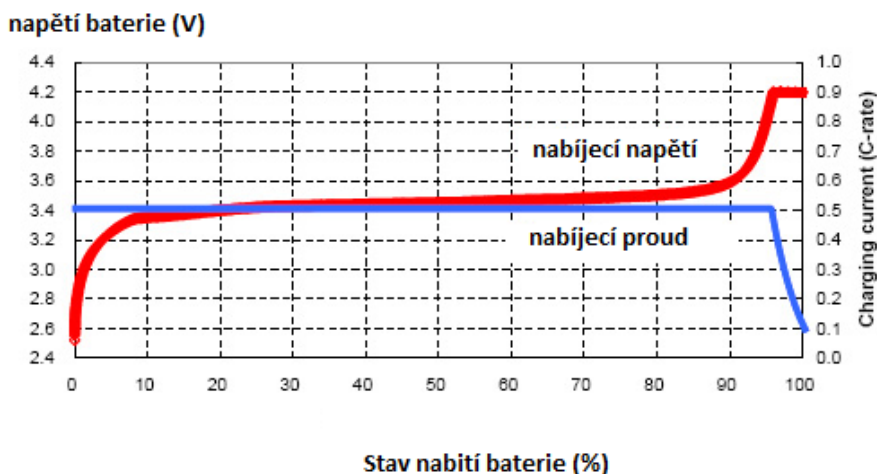
„slabší“ články v zapojení oslabí výkon celého akumulátoru. Obecně se doporučuje skladovat LFP baterie ve stavu 40-60 % nabití (na rozdíl od olověných akumulátorů). Skladování ve vybitém stavu by mohlo vést k jejich trvalému poškození, zatímco naopak dlouhodobé skladování ve stavu plného nabití snižuje jejich životnost. Protože v případě LFP akumulátorů se ještě jedná o relativně novou technologii, podmínky jejich optimálního využití, nabíjení a skladování se neustále vyvíjí a aktualizují.

LFP články se především zvažují jako zdroj energie do elektromobilů, neboť jsou schopné vydávat vysoké proudy bez nebezpečí z extrémního vývinu hořlavých plynů a tudíž možné exploze. Toto je dáno silnější chemickou vazbou železa, fosforu a kyslíku než vazbou mezi kobaltem a kyslíkem v původních lithiových článcích.



Obr. 12 Další možné vnitřní uspořádání LFP článku [18]

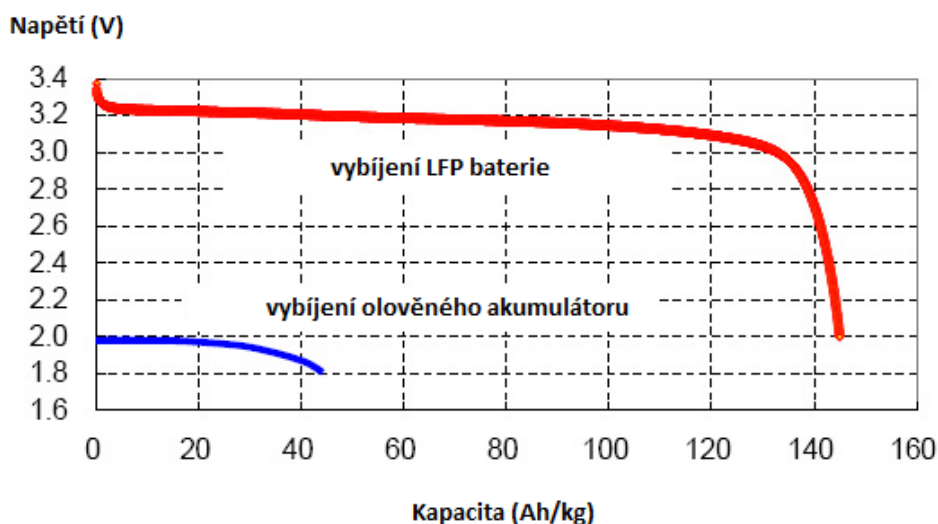
Nabíjení LFP baterií probíhá ve dvou krocích, aby se baterie zcela nabila na svou plnou kapacitu. V první fázi se baterie nabíjí konstantním proudem do přibližně 90 % kapacity. Po dosažení tohoto bodu se přepne nabíjecí obvod na konstantní napětí, to znamená, že baterie se dále nabíjí takovým proudem, který je baterie při daném napětí schopna „přijmout“. Nabíjecí proud tedy v této fázi s postupem času klesá. První fáze nabíjení trvá přibližně hodinu, v závislosti na typu a vybití baterie, druhá část pak trvá přibližně dvakrát déle.



Obr. 13 Nabíjení LFP baterie [14]

Z grafu je názorně vidět, že napětí baterie zůstává poměrně dlouhou dobu konstantní při konstantním nabíjecím proudu, v druhé části pak nabíjecí proud klesá a baterie postupně dosáhne svého plného napětí. Přestože jsou LFP baterie citlivé na přebíjení, lze je teoreticky nabít až na napětí 4,20 voltů, při vyšším napětí však zpravidla dojde k jejich nevratnému poškození, které je způsobeno rozkladem organického elektrolytu.

Velkou nevýhodou LFP baterií je, že na rozdíl například od olověných akumulátorů se napětí jednotlivých článků v akumulátoru navzájem nevyrovnají, proto je také nutné používat současně s LFP bateriemi vyrovnávací moduly, aby se předešlo nerovnoměrnému nabití a tím poškození akumulátoru. Tyto nevýhody jsou však zdaleka vyváženy ostatními přednostmi LFP baterií, především jejich kapacitou a vyšší hustotou energie, jak je vidět například z následujícího grafu v porovnání s klasickými olověnými akumulátory. To znamená, že soubor LFP článků je schopný dosáhnout většího nominálního napětí při použití menšího množství materiálu v elektrodě v porovnání s jinými akumulátory, například olověnými.



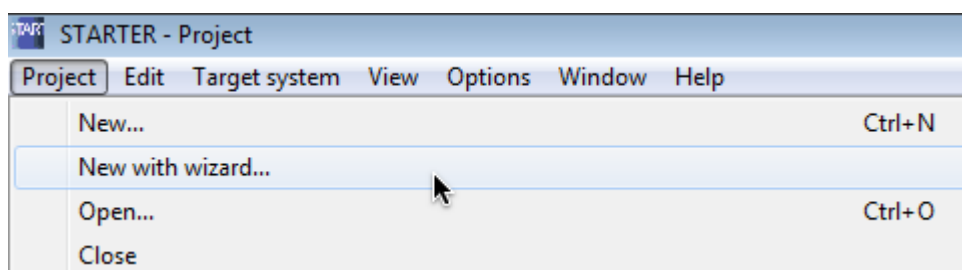
Obr. 14 Srovnání kapacit LFP a klasických olověných akumulátorů [14]

## 4 NAVRHNĚTE A OVĚŘTE PRAKTICKOU APLIKACI NABÍJEČE S ŘÍZENÝM USMĚRŇOVAČEM SIEMENS 6RA80.

Mým úkolem je pomocí měniče Siemens navrhnout aplikaci, která bude sloužit pro nabíjení akumulátorů. Akumulátory jsou typu LiFePo, takže se nabíjí konstantním proudem. Také je potřeba nabíjení ukončit po dosažení maximálního napětí. Měnič je potřeba nastavit tak, aby tyto podmínky byly splněny. Veškeré nastavení měniče se bude provádět v programu STARTER. Na dodávaném instalačním DVD jsou různé aplikace využití. Nejlepší pro náš účel je použít měnič jako buzení stejnosměrných motorů, jak bylo popsáno v kapitole 2.10 – Aplikace měniče.

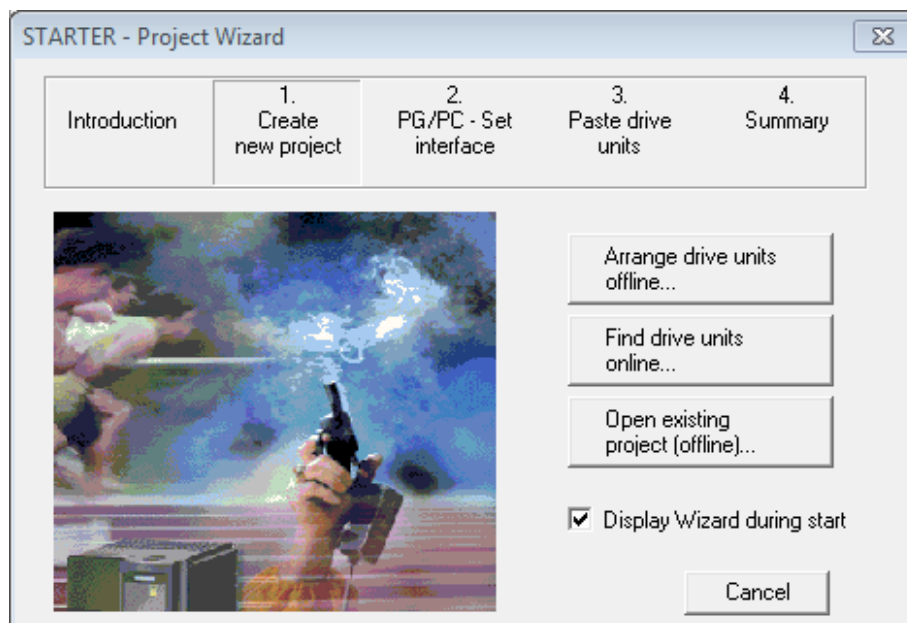
### 4.1 SPUŠTĚNÍ PROGRAMU STARTER

Po spuštění programu STARTER se objeví tabulka nápovědy a okno s názvem *Project Wizard*. Pro založení nového projektu je nejjednodušší použití volby, která se objeví po spuštění programu. Pokud jsme již okno zavřeli, tak klikneme na záložku Project a tam vybereme příkaz *New with wizard*, jak je patrné z obr. 15. Objeví se nabídka *Project Wizard*, kde máme na výběr ze tří možností - viz obr. 16. Buď je možné vytvořit projekt offline bez měniče, připojit jednotku online nebo načíst již vytvořený projekt. Zvolíme vytvoření projektu offline.



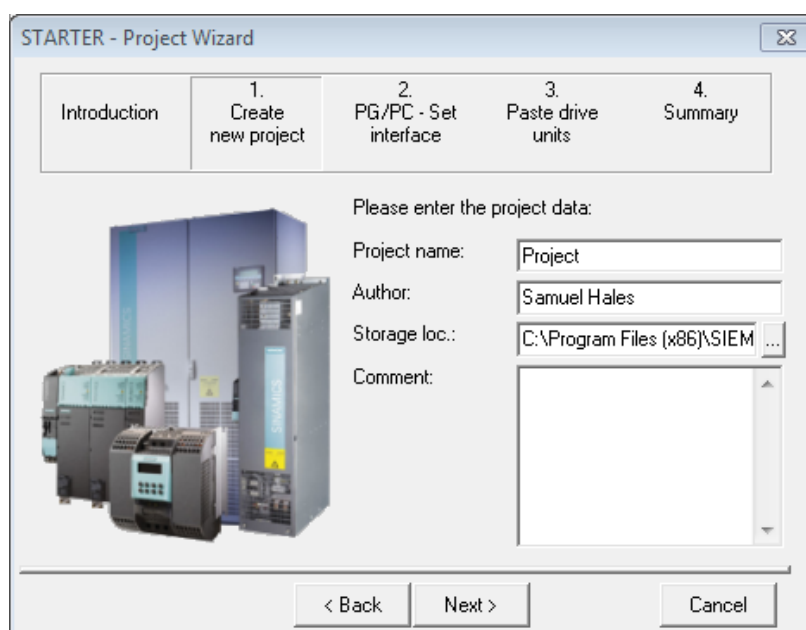
Obr. 15 Vytvoření projektu pomocí New with wizard





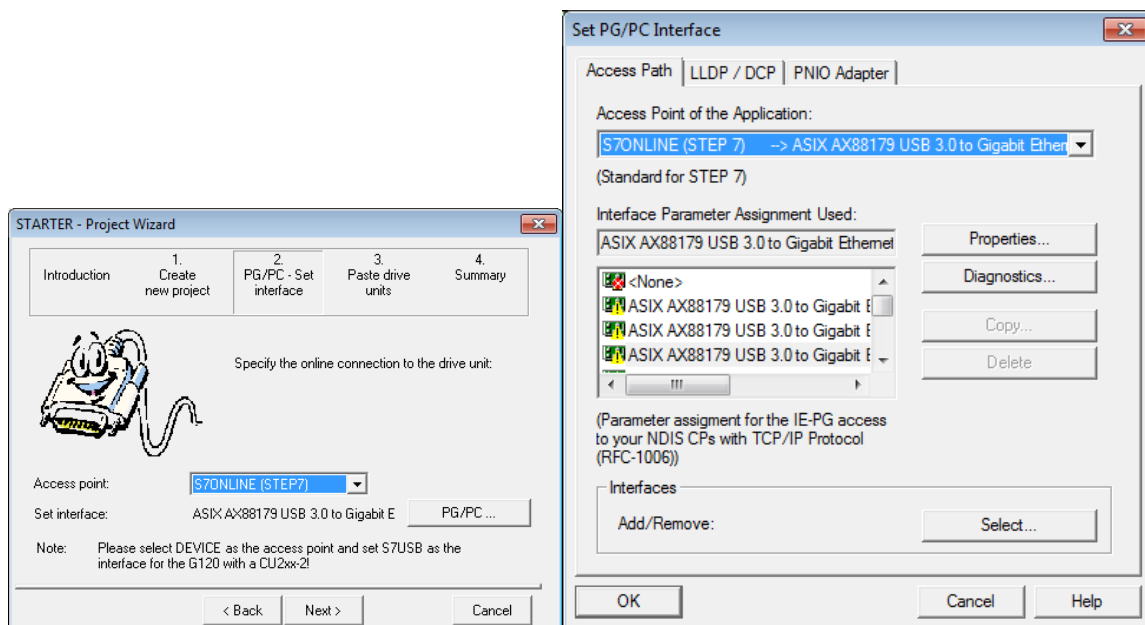
Obr. 16 Nabídka Project Wizard

Objeví se další nabídka uvedená na obr. 17. Zde vyplníme jméno projektu, jméno autora a místo uložení, popřípadě můžeme napsat nějakou poznámku k projektu. Po vyplnění pokračujeme tlačítkem *Next*.



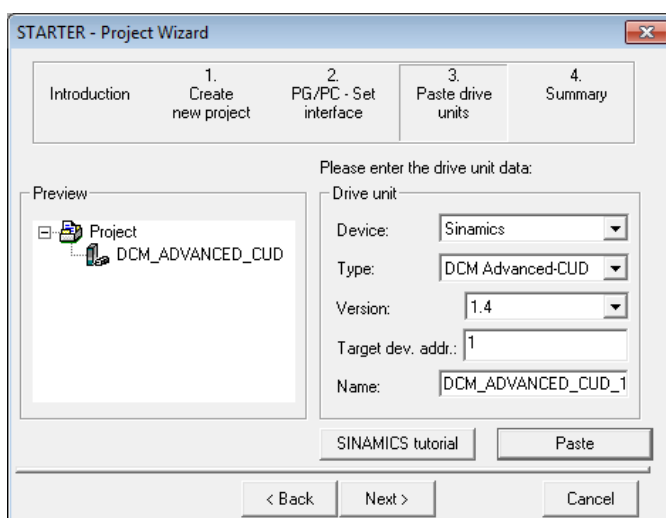
Obr. 17 Vytvoření nového projektu

Zobrazí se nám další okno, kde zvolíme způsob připojení měniče k počítači. Volbu *Access point* není potřeba měnit. Důležité je, aby se v kolonce *PG/PC Set interface* zobrazilo správné připojovací rozhraní, v případě špatného (chybného) nastavení klikneme na tlačítko *PG/PC* - viz. Obr. 18

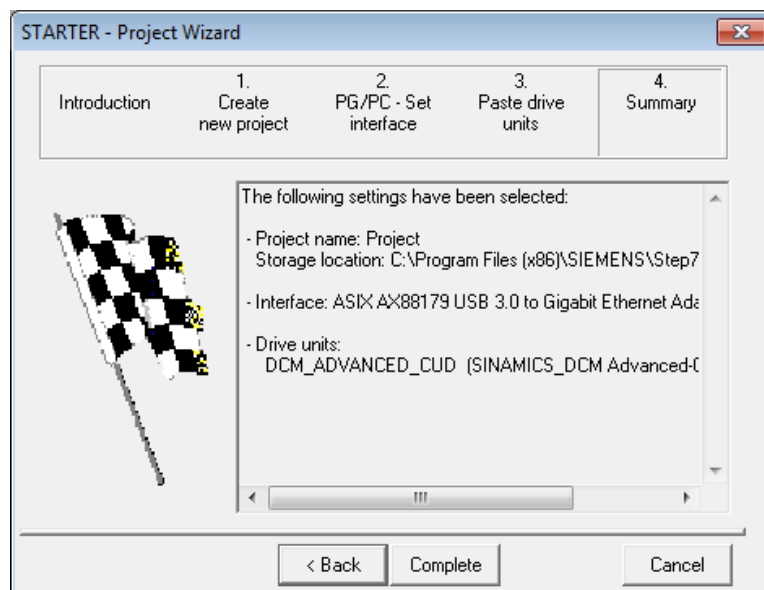


Obr. 18 Nastavení rozhraní

V mém případě jsem s měničem komunikoval přes síťovou (ethernet) kartu. V počítači nemám ethernetový port, tak jsem použil externí síťovou kartu přes USB. Z nabídky bylo potřeba vybrat správnou kartu a nabídku potvrdit tlačítkem OK. Po zobrazení správné karty klikneme na tlačítko *Next* a pokračujeme dále. V dalším okně, zobrazeném na obr. 04, se musí nastavit požadovaná jednotka. V první nabídce vybereme rodinu měničů Sinamics, dále se musí vybrat typ řídicí karty. Vybereme volbu DCM Advanced CUD, protože testovaný měnič má tuhle řídicí jednotku. Ostatní věci necháme nezměněné a musíme vložit zvolenou jednotku do projektu, pomocí tlačítka *Paste*. Zvolená jednotka se zobrazí v levé části okna, jak vidíme na obr. 19. Pokračujeme tlačítkem *Next*.

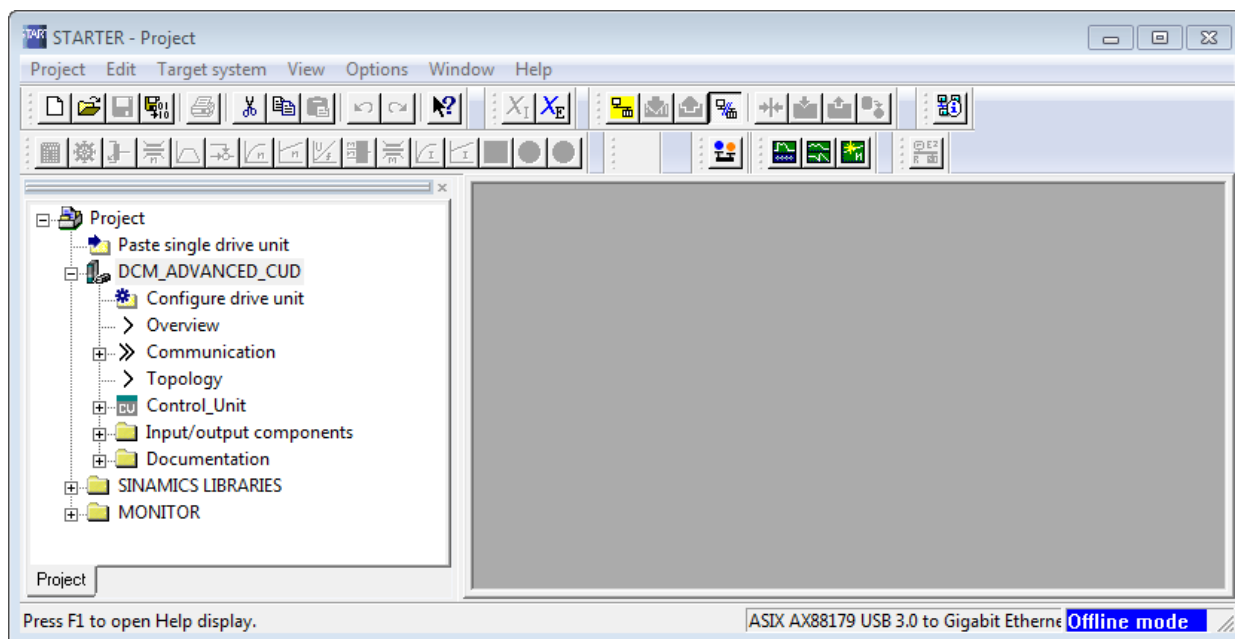


Obr. 19 Nastavení měniče



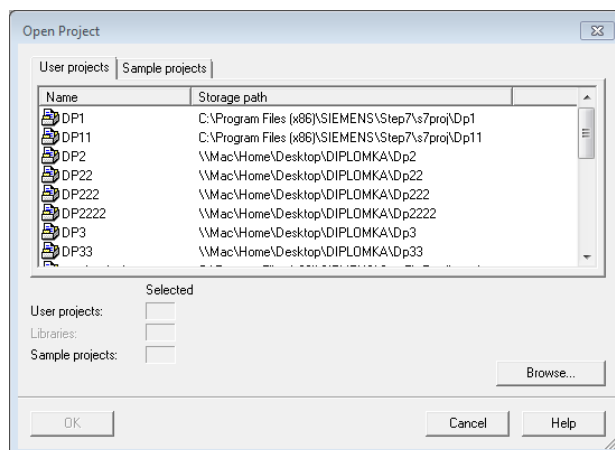
Obr. 20 Přehled nastavení

V tomto kroku se nám ukážou všechna nastavení a pokud je všechno v pořádku, tak se projekt dokončí (potvrdí) stiskem tlačítka *Complete* - viz. obr. 20. Nastavení projektu zmizí a vidíme základní obrazovku programu STARTER, kde v levé části můžeme vidět vytvořený projekt. Z obr. 21 si můžeme všimnout, že se nacházíme v *Offline mode*.



Obr. 21 Vytvořený projekt

Pokud chceme otevřít již vytvořený projekt, tak rozklikneme záložku *Project* a vybereme možnost *Open*. Případně můžeme také použít klávesovou zkratku Ctrl+O. Jedná se o stejný menu, které je uvedené na obr. 15. Otevře se nám možnost vybrat ze seznamu již vytvořených projektů. Je třeba mít nastavený správný adresář, kde se požadované projekty nacházejí. Případně je musíme vyhledat pomocí položky *Browse* - viz. obr. 22.

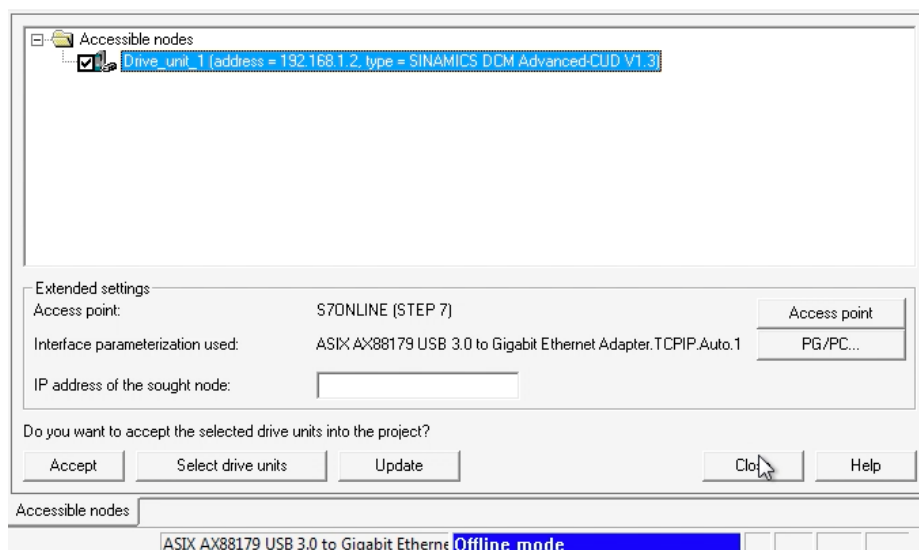


Obr. 22 Otevření vytvořených projektů

Když máme vytvořený projekt, tak je potřeba se připojit k měniči. To lze provést mnoha způsoby. Nejlepší způsob, jak jsem již zmínil, je přes síťový (ethernetový) kabel. Je důležité mít zvolenou správnou síťovou kartu, v nastavení PG/PC, jak bylo uvedeno na obr. 03. Otevřeme si požadovaný projekt, pak v nabídce ikon vybereme položku *Accessible nodes* – viz. obr. 23. Případně klikneme na Project a tam vybereme stejnou položku *Accessible nodes*.

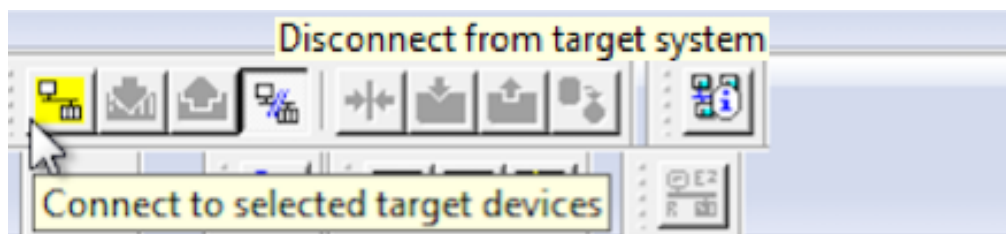


Obr. 23 Accessible nodes



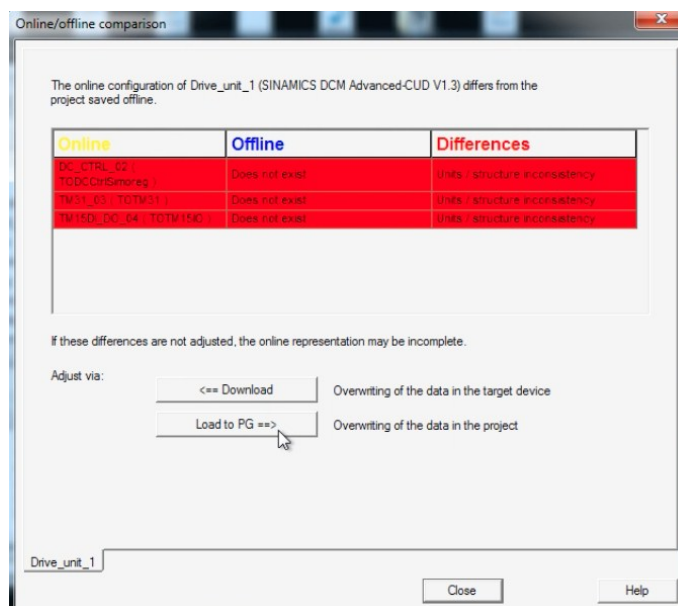
Obr. 24 Accessible nodes

Nyní se začne vyhledávat připojení a měla by se ukázat tabulka, že byl nalezen přístupový bod. Je třeba zkontrolovat, zda má systém povolení přístupu pro tento program. Zobrazí se nám okno uvedené na obr. 24. Klikneme na čtvereček u nalezeného připojení. Poté klikneme na políčko *Accept*, a dojde k dalšímu načítání. Po dokončení se zobrazí tabulka, že bylo vše v pořádku a můžeme se připojit k měniči. Tabulku ukončíme tlačítkem *Close*, jak je patrné z obr. 24.



Obr. 25 Připojení měniče

Po nastavení připojení již můžeme provést online připojení k měniči – viz ikona na obr. 25. U ikony se zobrazí název *Connect to selected target devices*. Odpojení měniče zpět do režimu Offline se provede 4 ikonkou zobrazenou na obr. 25. Pokud je vše v pořádku, tak se měnič připojí a dole na liště se zobrazí nápis *Online mode*, který je napsán na žlutém podkladu. V mém případě se ukázala tabulka, že v projektu je jiná konfigurace než je v měniči, jak vidíme na obr. 26. Pro přepsání dat v projektu, klikneme na tlačítko *Load to PG*. Měnič začne nahrávat data do projektu a po dokončení klikneme na tlačítko *Close* na okně zobrazeném na obr. 26.

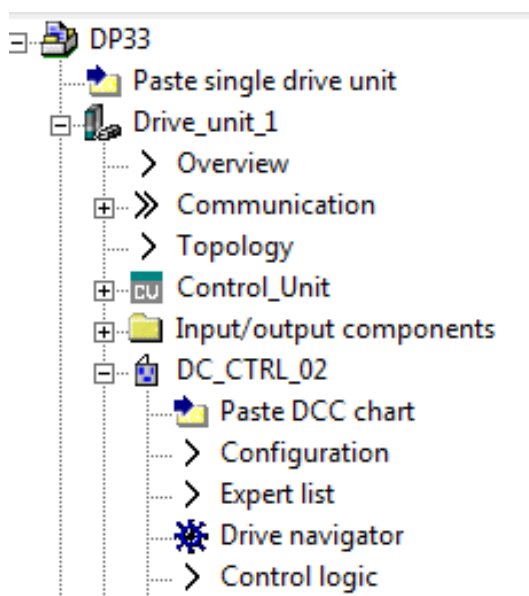


Obr. 26 Porovnání Offline a Online



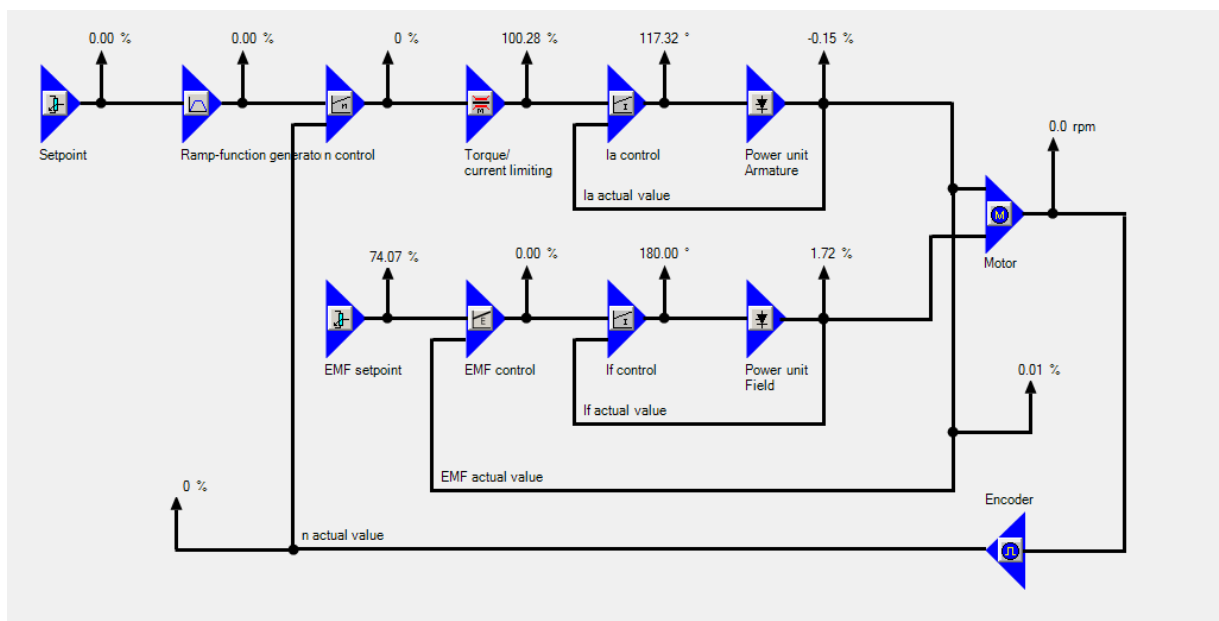
Obr. 27 Obnovení továrního nastavení

Pro vytvoření nového projektu je nejlepší volbou měnič obnovit do továrního nastavení. To se provede kliknutím v levém menu na jednotku pohonu a to nám zpřístupní možnosti, které vidíme na obr. 27. Klikneme na tlačítko uvedené na obrázku, potvrdíme tuhle volbu a provede se obnovení do továrního nastavení měniče. Opět je třeba nahrát změny v projektu, viz. obr. 26.



Obr. 28 Možnosti nastavení

Nyní je měnič v továrním nastavení, komunikace funguje a nic nám nebrání se s měničem seznámit. V programu rozklikneme roletku pohonu - viz obr. 28. Jednotlivé položky jsem si prošel a pro mou další činnost, mě zajímal pouze oddíl DC\_CTRL\_02. V této části oddílu položka *Configuration* slouží k nastavení parametrů měniče a také připojeného motoru. V ovládacím programu je hodně možností a variant, jak měnit parametry měniče. Veškeré parametry měniče jsou zobrazeny v *Expert listu*, tato položka je patrná z obr.28. Počet potenciálních změn parametrů je 1565, ale mnoho z nich nejde nastavovat, jelikož jsou závislé na jiných parametrech. U každého parametru je krátký popis, pro podrobnější popis lze každý parametr vyhledat v katalogu. Další položkou je *Drive navigator*, kde je opět mnoho možností. *Expert list* i *Drive navigator* se dá spustit pomocí ikonky na panelu programu. V okně *Drive navigator* klikneme na položku *Overview*, a zobrazíme celou regulační strukturu měniče. Jednotlivé bloky jdou rozkliknout a případně můžeme měnit různé parametry. Celá struktura je uvedena na obr. 29.



Obr. 29 Struktura měniče

## 4.2 NASTAVENÍ PROGRAMU STARTER

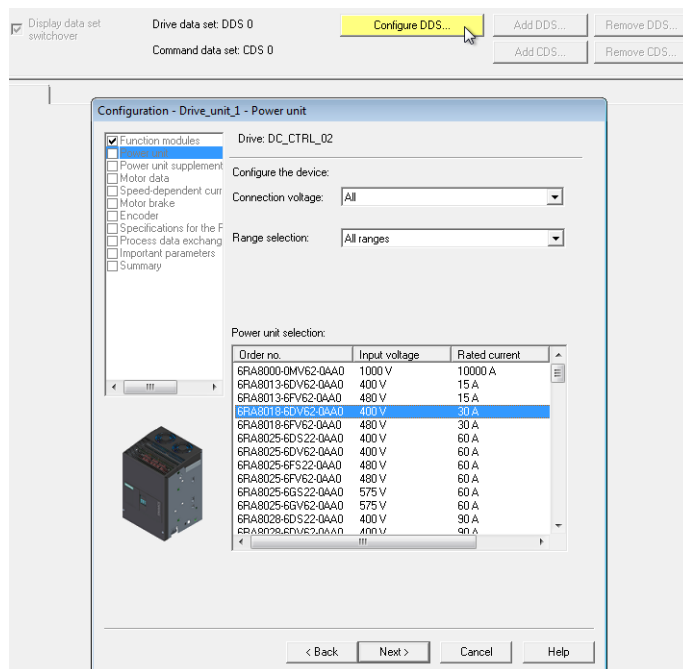
V programu jsem se seznámil se strukturou měniče a možnostmi jak nastavovat různé parametry. Pro vytvoření aplikace nabíjení bude nejlepší nastavit měnič jako buzení stejnosměrných motorů. Na internetu nebo na přiloženém DVD je tato aplikace k dispozici. U této aplikace je třeba přenastavit některé parametry měniče. Na obr. 30 je uveden seznam těchto parametrů a co je potřeba změnit. Také vidíme, jak se provede tato změna v *Expert* listu.

	p50084 = 2	p50431[0] = 52402
p50076[0]	p50100	p50433[0] = 52011
P50076[1]	p50102	p50601[2] = 52209
p50078[0]	P50153 = 3	p50609 = 52000
p50079 = 1	p50179 > 0	p2118.0 = 60042
p50082 = 0	p50192 = 1	p2118.1 = 60035
p50083 = 4	p50402	p2119.0 = 3
	p50430[0] = 53010.0	P2119.1 = 3

p50079	Armature gating unit short pulses/long pulses	[1] Long pulses
p50080	Brake control braking mode	[0] No brake
p50081	Field weakening activation	[0] De-activated
p50082	Field power unit operating mode	[0] No field
⊕ p50083[0] D	Speed controller actual value selection	[4] Free interconnection using p50609
p50084	Closed-loop speed control/Closed-loop current/torque control sel	[0] Selection de-activated
p50085	Sequence control withdraw jog wait time	[1] Analog tachometer
p50086	Sequence control line voltage failure duration permissible	[2] Incr encoder
p50087	Brake control brake opening time	[3] EMF actual value internal
p50088	Brake control brake closing time	[4] Free interconnection using p50609
p50089	Sequence control voltage at power unit wait time	[5] DRIVE-CLiQ encoder

Obr. 30 Nastavení parametrů měniče

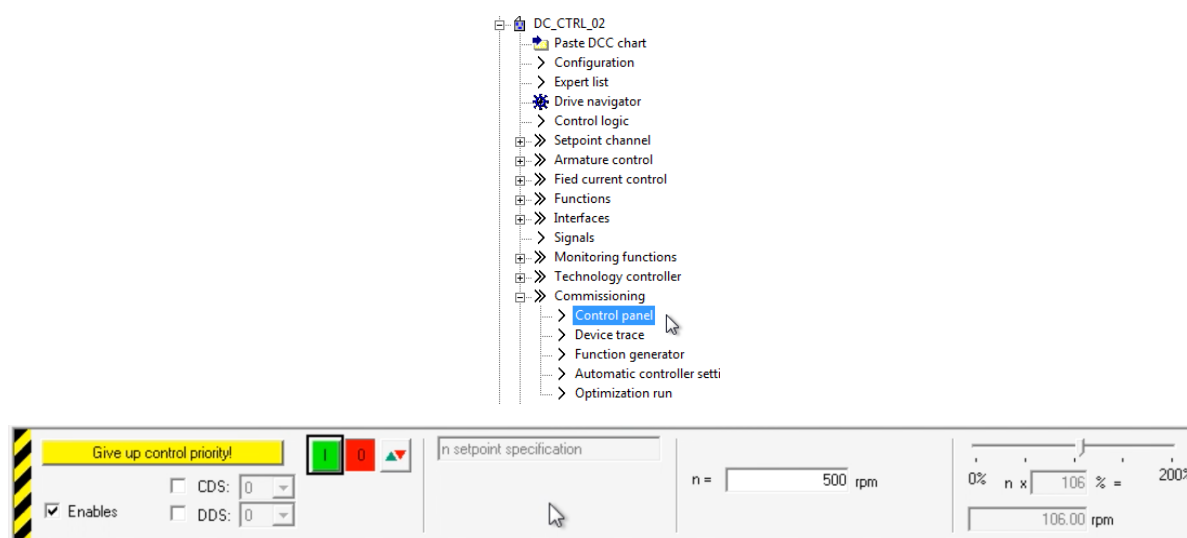
Některé údaje musíme nastavit ručně podle našich požadavků např. požadovaný maximální proud. Jedná se o aplikaci, kde můžeme pomocí potenciometru regulovat budící proud až do hodnoty maximálního nastaveného proudu. Potenciometr je umístěn na ovladači připojeném k měniči. Pro základní testování byl použit motor na 220V a požadovaný budící proud bude 0,5A. Hodnoty měniče a motoru je třeba nastavit v položce *Configuration*, nabídka se nachází nad Expert listem jak je patrné z obr. 28. Nyní klikneme na položku *Configure DDS* a vyskočí nám okno, kde postupně nastavíme potřebné údaje.



Obr. 31 Configuration

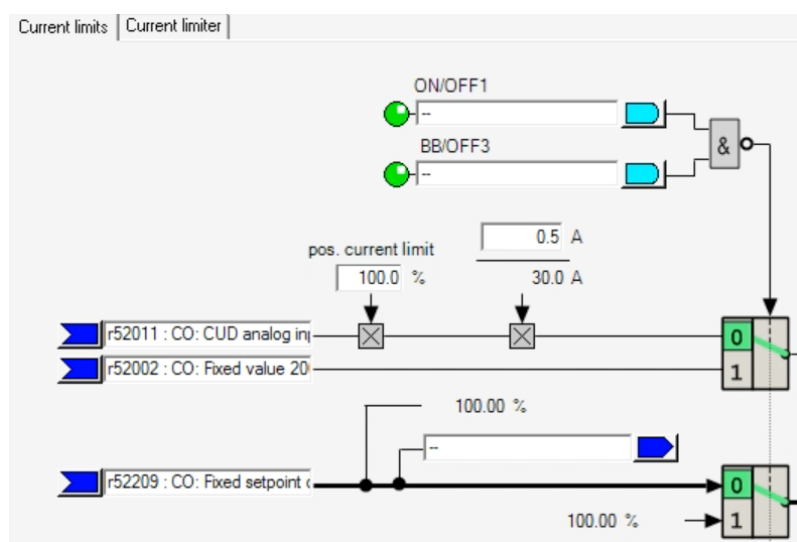
V první volbě označíme funkční moduly, dále nastavíme měnič podle známých údajů. V laboratoři máme měnič 480V a 30A. Dále nastavíme údaje motoru, případně je pouze zkontrolujeme. Nastavili jsme napětí 220V a proud 0,5A. Tyto údaje jsou potřebné pro spuštění měniče, bez těchto údajů měnič hlásil chybu. Další parametry nás moc nezajímají, tak je pouze překlikáme pomocí tlačítka *Next*. Na konci se nám ukážou nastavené údaje, které potvrdíme tlačítkem *Finish*. Nyní máme vše potřebné nastavené a zkusíme to spustit. Spuštění měniče lze provádět mnoha způsoby. Můžeme spustit pomocí AOP30, ovladače měniče nebo pomocí softwaru STARTER. Nejjednodušší je spuštění přímo v programu. Rozklikneme záložku *DC\_CTRL\_02*, potom *Commissioning* a pak klikneme na položku *Control panel*, což je patrné z obr. 32. Objeví se panel s názvem *Control panel* ve spodní části programu. Na obr. 32 také vidíme, jak tento panel vypadá. Pokud chceme měnič spustit, tak nejprve musíme mít nastavenou prioritu ovládání. Toho docílíme kliknutím na tlačítko s nápisem *Assume control priority*. Poté nám vyskočí okno, kde je možnost nastavit monitorovací čas. Pro můj účel jsem nechal nastavenou hodnotu 1000ms a potvrdil jsem to tlačítkem *Accept*. Nyní vidíme nápis *Give up control priority*, a dále je potřeba označit kolonku *Enables*, jak vidíme z obr. 32. Uživatel zadává jmenovité otáčky a pohon se spouští zeleným tlačítkem. Vypnutí měniče se provede pomocí červeného tlačítka. Během chodu můžeme měnit otáčky.





Obr. 32 Control panel

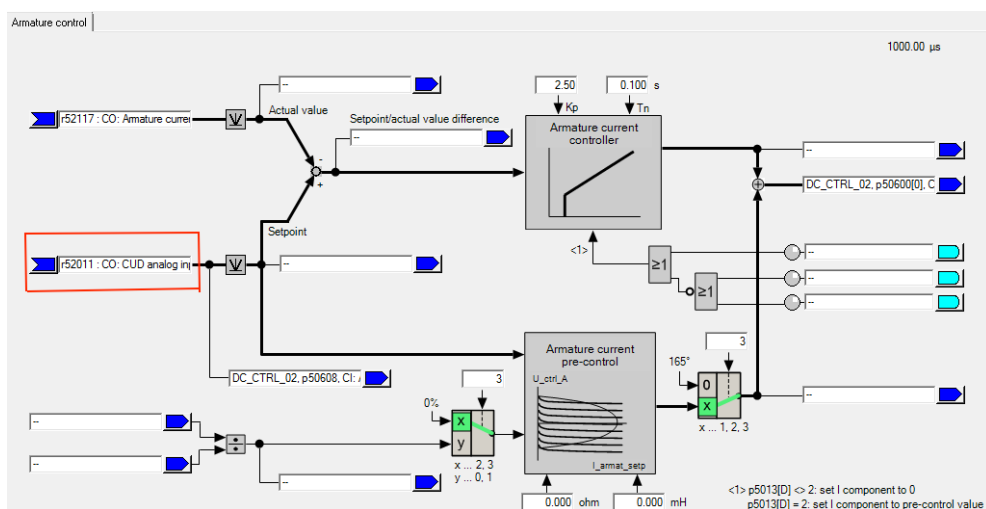
Spustil jsem měnič pomocí zeleného tlačítka. Z důvodu chybného nastavení výstupního napětí, se objevila chybová hláška. Po správném nastavení se měnič spustil. Nyní jsem sledoval v expert listu výstupní proud, pomocí parametru r27. Zjistil jsem, že výstupní proud je také závislý na zvolených otáčkách, proto jsem nastavil hodnotu 500 ot. Místo fixní hodnoty 100% jsem nastavil parametr r52011. Jedná se o potenciometr, který nastavuje procentní hodnotu do 100%. Takhle můžeme snižovat požadovaný proud. Nastavení provedeme v *Drive navigator* v položce *Current limits* viz. obr. 33



Obr. 33 Nastavení potenciometru

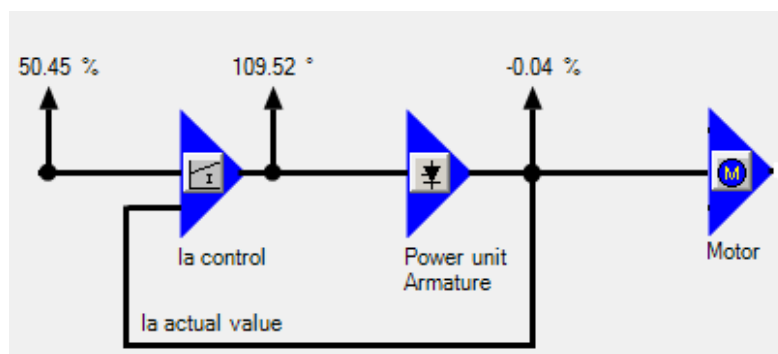
Vše fungovalo, proud jsem mohl regulovat, ale není to ideální. Na začátku je požadovaná hodnota, která vstupuje do regulátoru otáček. Proto je třeba požadavek proudu zadávat nejlépe přímo do regulátoru proudu.

Zjistil jsem, že požadovanou hodnotu proudu můžeme nastavit přímo v nastavení proudového regulátoru. V *Drive navigator*, klikneme na blok proudového regulátoru. Do vstupů proudového regulátoru jde nastavená a také aktuální hodnota proudu. Na obr. 34 jsem přivedl potenciometr přímo na vstup nastavené hodnoty proudu. Případně tam můžeme nastavit fixní procentní hodnotu pomocí parametru p2900. Pro zvolený proud 0,5A odpovídá při běžném nastavení měniče hodnota 1,66%. Z tohoto důvodu je potřeba upravit procentní rozsah potenciometru. Našel jsem možnost tento rozsah upravit pomocí parametru p50702, kde nastavím maximální hodnotu v %. Další možností, která je podle mě výhodnější, je přenastavit maximální hodnotu výstupního proudu měniče pomocí parametru p50076. Tohle nastavení jsem provedl na hodnotu 5%, což odpovídá maximálnímu výstupnímu proudu měniče 1,5A.



Obr. 34 Nastavení regulátoru proudu

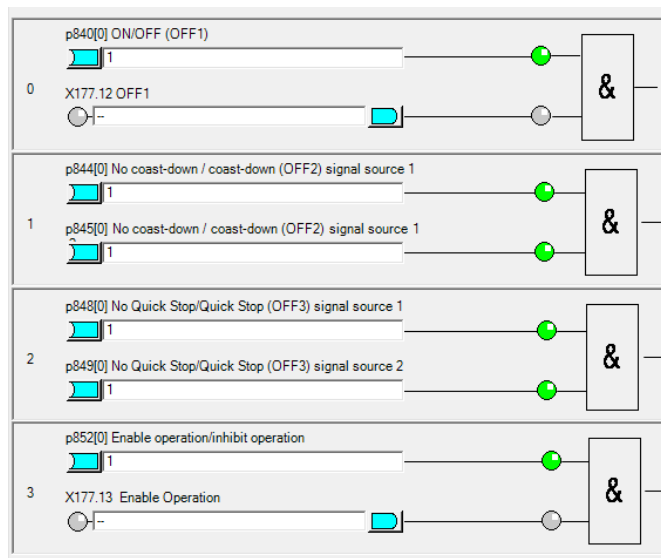
Ted' je už možné přímo nastavovat požadovanou hodnotu proudu. Předchozí bloky regulační struktury nejsou použity, a neovlivňují nám nastavení. Na obr. 35 vidíme, jak teď vlastně vypadá blokové schéma. Požadovaná hodnota vstupuje přímo do bloku regulátoru proudu. Na výstupu se nachází motor, případně požadované akumulátory.



Obr. 35 Regulační struktura měniče

Dalším mým úkolem bylo, aby se měnič mohl spouštět pomocí ovladače připojeného k měniči. Tak aby nebylo nutné spouštět měnič přes počítač. Nastavení spouštění měniče je v položce *Control logic*, kterou najdeme v záložce DC\_CTRL\_02. Nastavení této položky je uvedené na obr. 36. V měniči je spouštění měniče nastavené pomocí parametru X177.12 a také

X177.13. Z nastavení je také jasné, že se jedná o logický součin a proto vždycky obě hodnoty hradla musí být ve stavu logické 1.



Obr. 36 Control logic

V expert listu jsem našel výše uvedené parametry. Zjistil jsem, že to jsou nastavené hodnoty přepínačů na ovladači k měniči. Celý ovladač měniče je uveden na obr. 37.

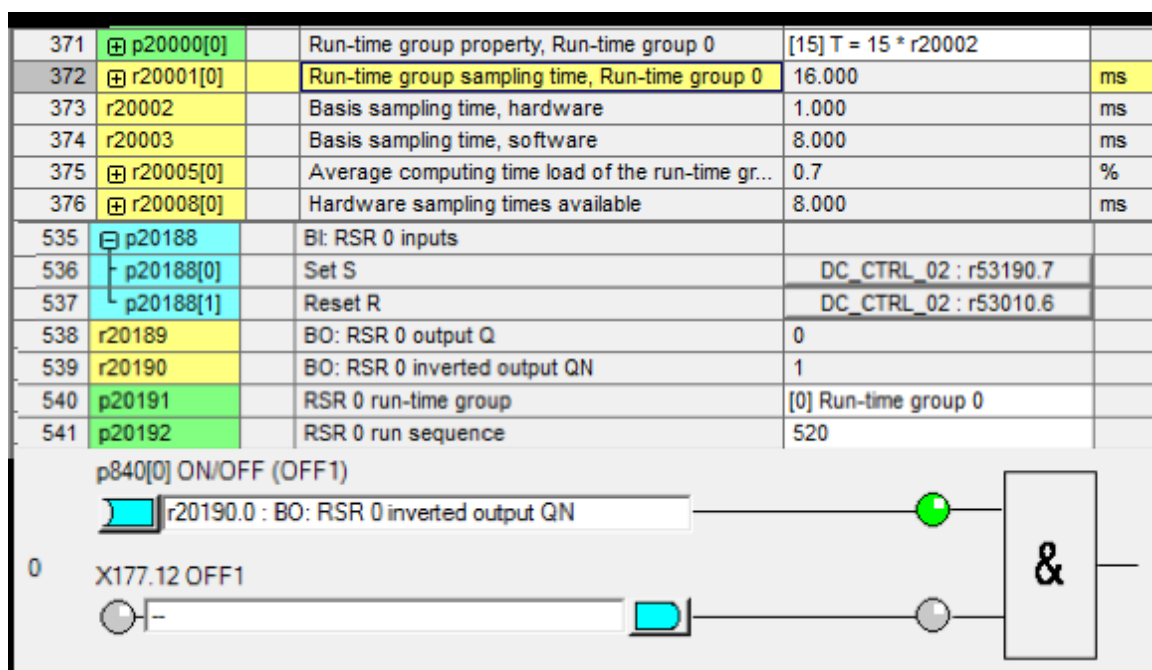


Obr. 37 Ovladač měniče

V případě přepnutí přepínače číslo jedna se aktivuje stykač měniče, což můžeme také slyšet cvaknutím. Jedná se o parametr X177.12. Tyhle přepínače jsou signalizovány zelenou led diodou. Pomocí přepínače číslo dvě dojde ke spuštění měniče. Pokud je jedno z těchto

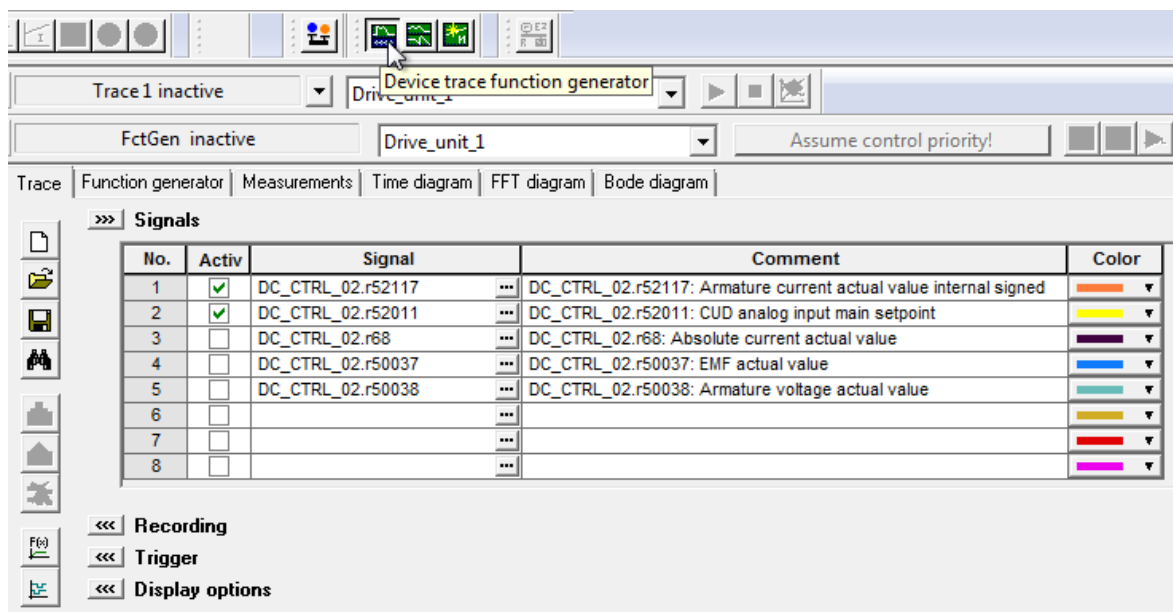
přepínačů neaktivní, tak měnič není spuštěn. Na vrchní displeji se zobrazuje nastavená hodnota na potenciometru AI 0. Tímhle potenciometrem nastavujeme požadovaný proud v procentech.

Je potřeba vymyslet samovolné vypnutí měniče při dosažení určitého napětí na zátěži. Našel jsem si parametr, který měřil výstupní napětí měniče. Potřeboval jsem tento údaj nějak zpracovat, tak aby na výstupu byla logická hodnota. Tohle se mi nepodařilo v programu STARTER zrealizovat. Napadlo mě to zkusit podle nastavení řídicího úhlu usměrňovače. V nastavení měniče se jedná o parametr p50150. Pomocí tohoto nastavení můžeme omezit výstupní stejnosměrné napětí. V mém případě jsem napětí omezil na 220V nastavením řídicího úhlu 66°. Podařilo se mi najít parametr, který stav řídicího úhlu signalizuje. V případě, že je dosaženo nastaveného limitu úhlu, tak se na r53190.7 objeví hodnota 1. Těmhle údaj převedu pomocí invertoru na opačnou hodnotu a nastavím jako spuštění měniče v *Control logic*. Provedu nahrazení parametru logické 1 ve vrchním hradle, zobrazeném na obr. 36. Také je potřeba nastavit parametr p20000, kterým nastavíme periodu vzorkování. Jednotlivé hradla je potřeba nejprve nastavit, aby fungovala. Nyní jsem měl vše nastavené a vyzkoušel jsem spustit měnič a čekal jsem na dosažení hodnoty nastaveného napětí. Měnič se vypnul a ihned opět zapnul. Jelikož parametr r53190.7 má hodnotu logické 1 pouze v okamžik kdy je podmínka splněna. Takže je třeba to nastavit tak, aby se měnič již znovu nespustil. V Expert listu jsem našel klopný obvod RS, který by měl fungovat tak jak potřebuji. Na obr. 38 je vidět celé nastavení vypínací logiky. Parametru r53190.7 je připojen na vstup S, na vstupu R je připojený přepínač 3, který se nachází na ovladači měniče uvedeného na obr. 37. Pokud není dosaženo námi zadané napětí, tak na výstupu klopného obvodu je 0, bez ohledu na to v jaké poloze je přepínač. Pokud je přepínač zapnut, tak na výstupu je vždycky 0. V případě dosažení zvoleného napětí klopný obvod přepne na logickou 1 a zůstane tak do té doby než přivedeme na vstup R logickou 1 pomocí přepínače. Jak si můžeme všimnout pro náš účel je potřeba použít negovaný výstup z klopného obvodu. Z obr. 38 vidíme, že tento výstup jsem přivedl do hradla sepnutí měniče.

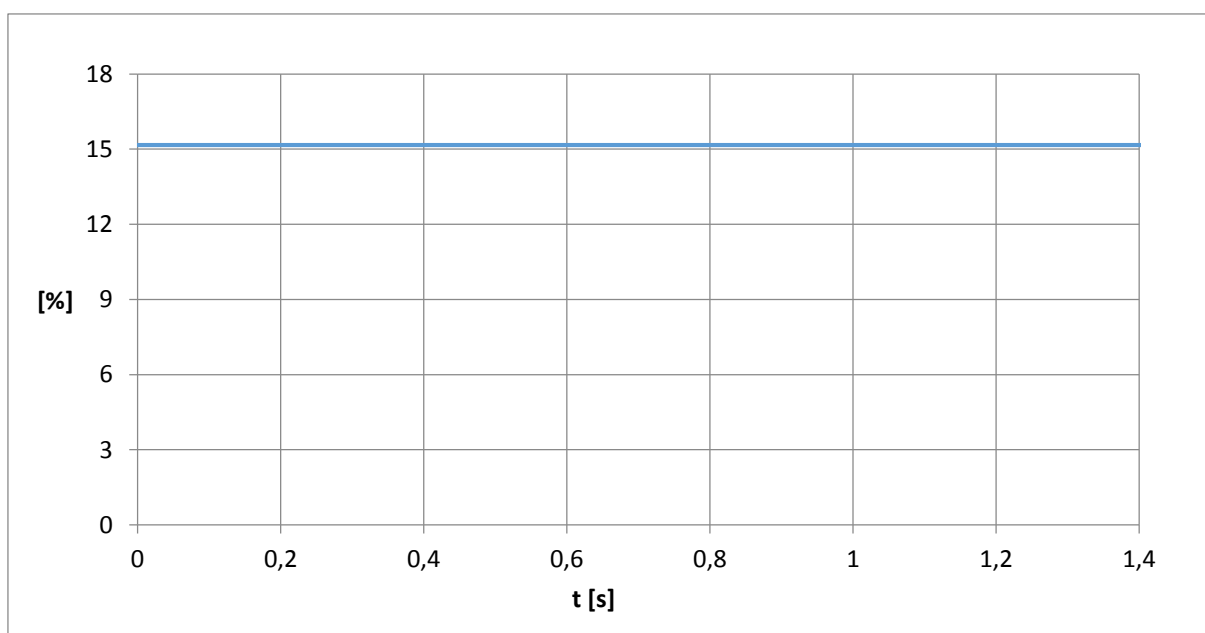


Obr. 38 Nastavení měniče

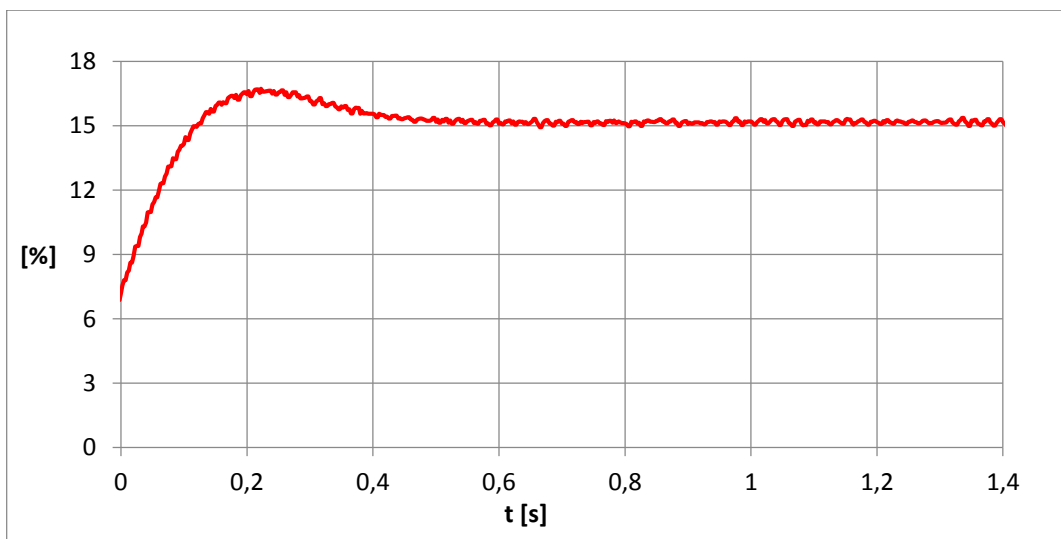
Nyní je potřeba ověřit jak vypadá regulace proudu. Software STARTER umožňuje měření v časové oblasti. K měření není potřeba žádných měřicích přístrojů. V programu klikneme na zelenou ikonku a objeví se nám nastavení měření – viz. obr. 39. Tady zvolíme parametr, který chceme měřit. V mém případě jsem tam nastavil r52011 a r52117. Tyhle parametry vstupují do proudového regulátoru. Jedná se o požadovanou a aktuální hodnotu proudu. Naměřené data je potřeba uložit, což jde provést pomocí fotky obrazovky, ale tato možnost není ideální. Průběhy jdou uložit do formátu, který otevře pouze program STARTER. Také je možnost naměřená data exportovat do formátu .xls, což jsou tabulky v programu Excel. V tomto programu, už není problém vytvořit grafy naměřených průběhů.



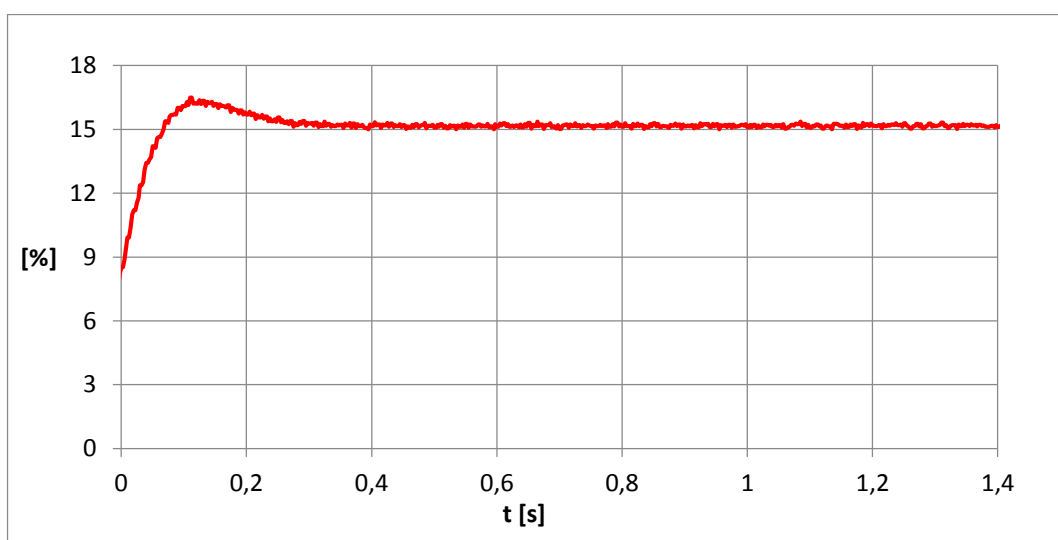
Obr. 39 Nastavení měření



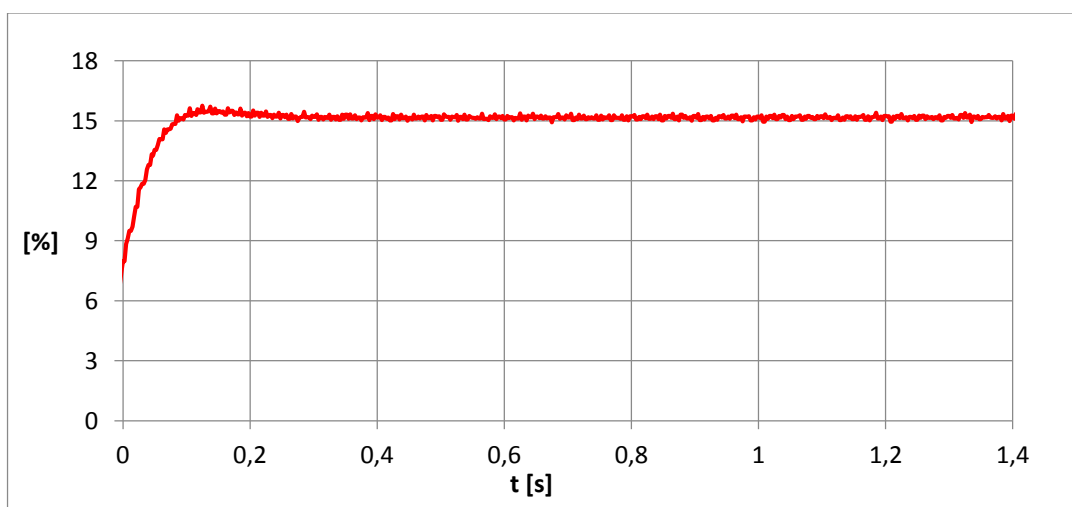
Obr. 40 Požadovaná hodnota proudu - r52011



Obr. 41 Aktuální hodnota  $r_{52117}$ , nastavení regulátoru  $K_p = 0,5$  a  $T_n = 0,1$ s)

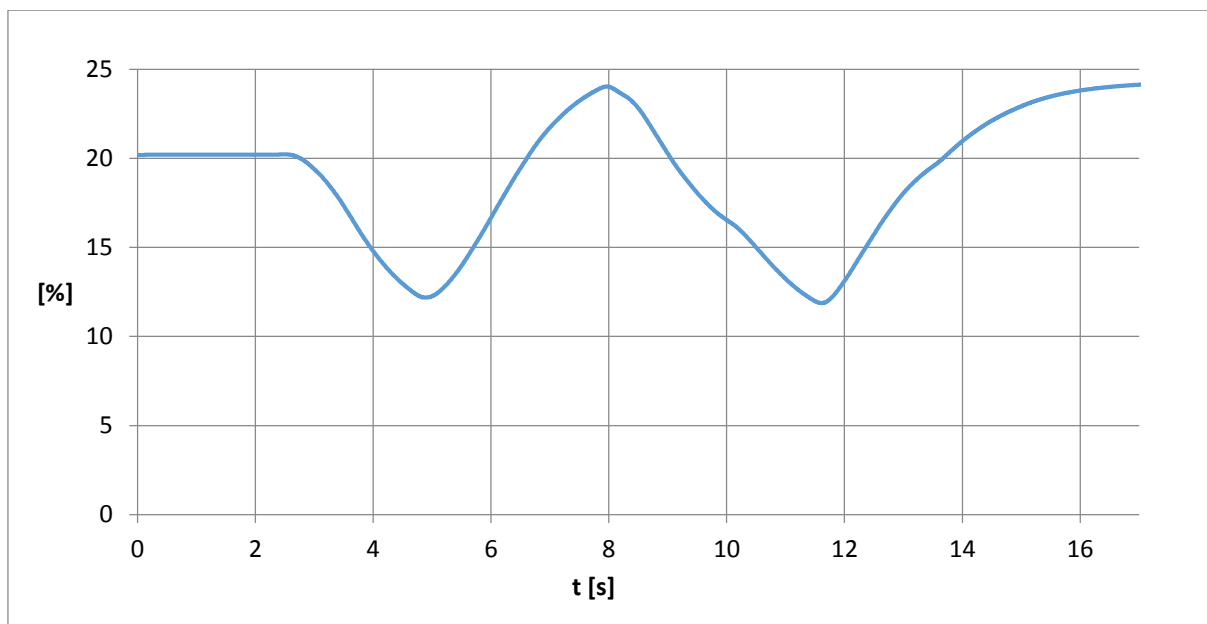


Obr. 42 Aktuální hodnota  $r_{52117}$ , nastavení regulátoru  $K_p = 1,5$  a  $T_n = 0,1$ s)

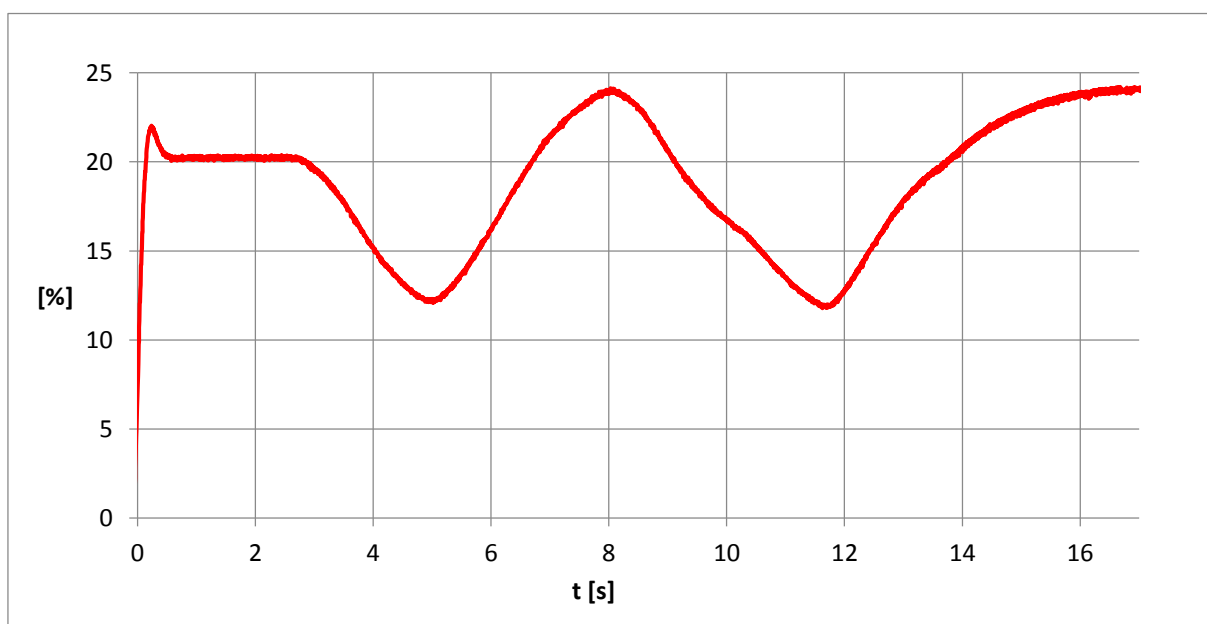


Obr. 43 Aktuální hodnota  $r_{52117}$ , nastavení regulátoru  $K_p = 2,5$  a  $T_n = 0,1$ s)

Když se podíváme na výsledné grafy, tak si můžeme všimnout, jak se projeví změna zesílení proudového regulátoru. Nastavená hodnota byla stejná pro všechny měření, pro přehlednost byla hodnota uvedena zvlášť viz. obr. 40. Při porovnání grafů viz.-obr. 41-43 vidíme, že překmit od žádané hodnoty je menší, čím větší je hodnota zesílení. Také doba ustálení na požadované hodnotě je menší. Nicméně regulátor funguje dobře ve všech případech. Také jsem chtěl vyzkoušet jaká je rychlost odezvy při změně požadované hodnoty viz - obr. 44 a 45. Z uvedených grafů vidíme, že regulace je plynulá. Můžeme tedy říct, že regulátor proudu je nastaven správně. Nicméně nastavení regulátoru na 0,5A je určitě jiné než bude poté potřeba na nabíjení akumulátorů. Takže nyní vše funguje a je třeba vyzkoušet nabíjení akumulátorů.



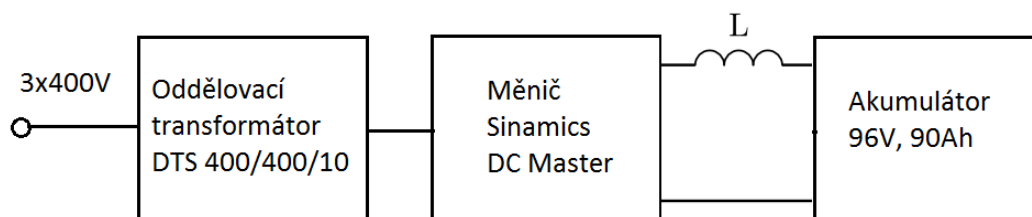
Obr. 44 Požadovaná hodnota r52117, nastavení regulátoru  $K_p = 1,5$  a  $T_n = 0,1s$ )



Obr. 45 Aktuální hodnota r52117, nastavení regulátoru  $K_p = 1,5$  a  $T_n = 0,1s$ )

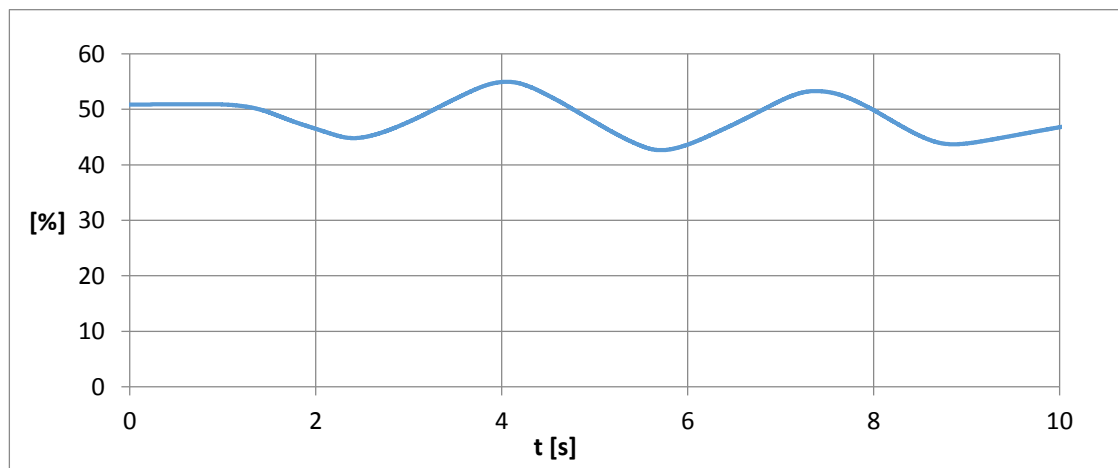
### 4.3 MĚŘENÍ NA AKUMULÁTORECH

Měnič je nastaven na vyzkoušení nabíjení akumulátorů – viz obr. 35. Akumulátory se nacházejí v laboratoři E103, takže měnič bylo potřeba převést do laboratoře. Měnič byl napájen z oddělovacího trojfázového transformátoru. Na oddělovacím transformátoru nastavíme napětí 400V, tento údaj zkontrolujeme na parametru r50015. V laboratoři jsem si zjistil přesný typ akumulátorů, který budu nabíjet. Jedná se o sériové zapojení 8 baterií s napětím 12V. Z internetu jsem zjistil, že maximální napětí je 16V. Nejprve je potřeba přenastavit některé parametry v měniči. Musím nastavit proudový rozsah měniče. Pomocí parametru p50076 nastavím na hodnotu 40%. Takže maximální proud je omezen na 12A. Je to dáno maximálního proudem měniče, takže 100% odpovídá proudu 30A. Dále řídicí úhel usměrňovače omezím na  $77^\circ$ , a to odpovídá hodnotě 121V. Dále jsem nastavil p50100 na hodnotu 10A a p50101 na hodnotu 120V. Bez tohoto nastavení by to mohlo vykazovat chyby. Teď už máme vše nastavené a můžeme připojit akumulátory. Při spuštění nabíjení měnič okamžitě vypínal. Nějak mi nefungovalo to automatické vypnutí, respektive mi to hned vypnulo. Pomocí zapnutí přepínače 3 na ovladači, jsem toto vyhodnocení zrušil. Mezi měnič a akumulátory jsem zapojil tlumivku.



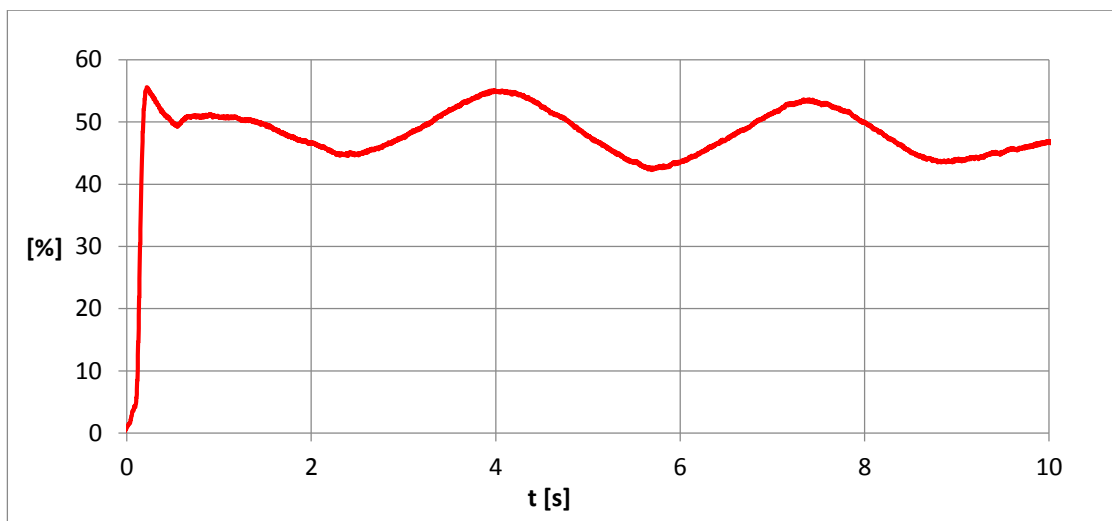
Obr. 46 Schéma zapojení

Nejprve musíme dobře nastavit proudový regulátor, to provedeme změnou zesílení a časové konstanty. Tohle nastavení provedeme v bloku proudového regulátoru, nebo přímo pomocí parametrů p50150 a p50156. Nejlepší nastavení proudového regulátoru bylo při  $K_p = 0,1$  a  $T_n = 0,03s$ . Výsledné průběhy vidíme na obr. 47-50. Můžeme si všimnout, že regulace je plynulá. Uvedl jsem grafy pro dvě různá nastavení požadovaného proudu.

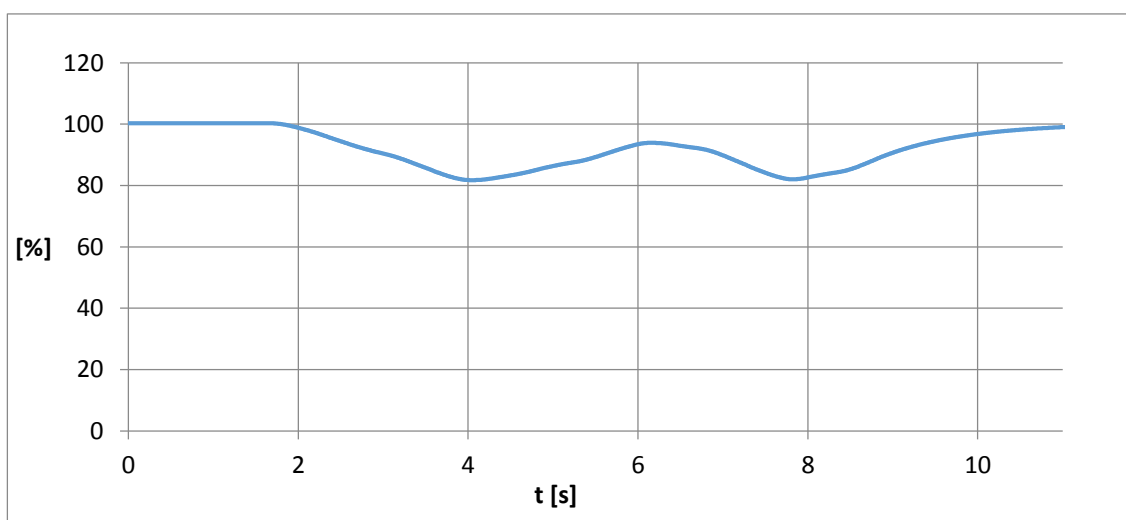


Obr. 47 Požadovaná hodnota r52011, nastavení regulátoru  $K_p = 0,1$  a  $T_n = 0,03s$

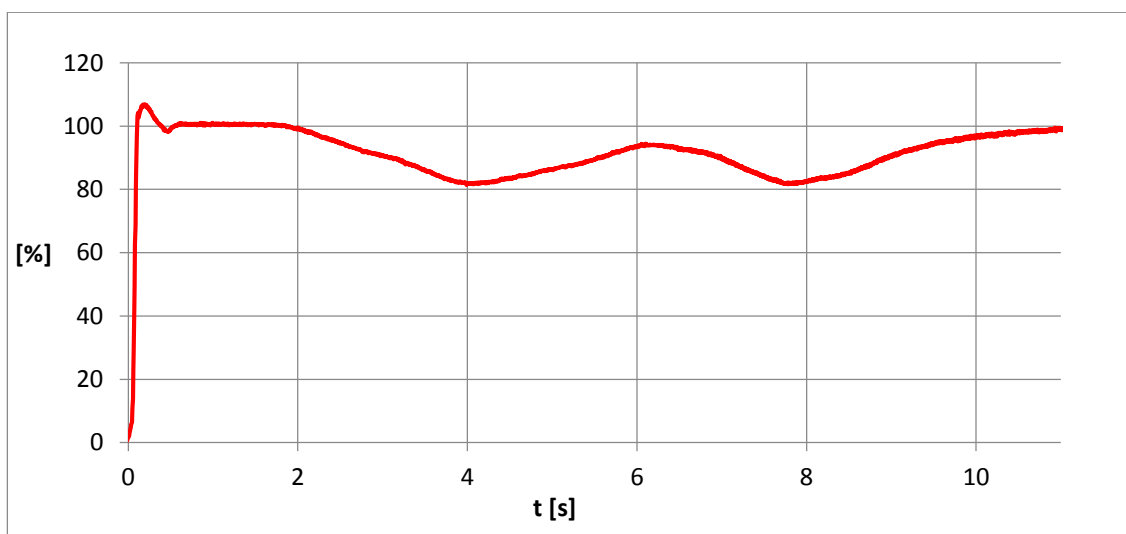




Obr. 48 Aktuální hodnota r52117, nastavení regulátoru  $K_p = 0,1$  a  $T_n = 0,03s$

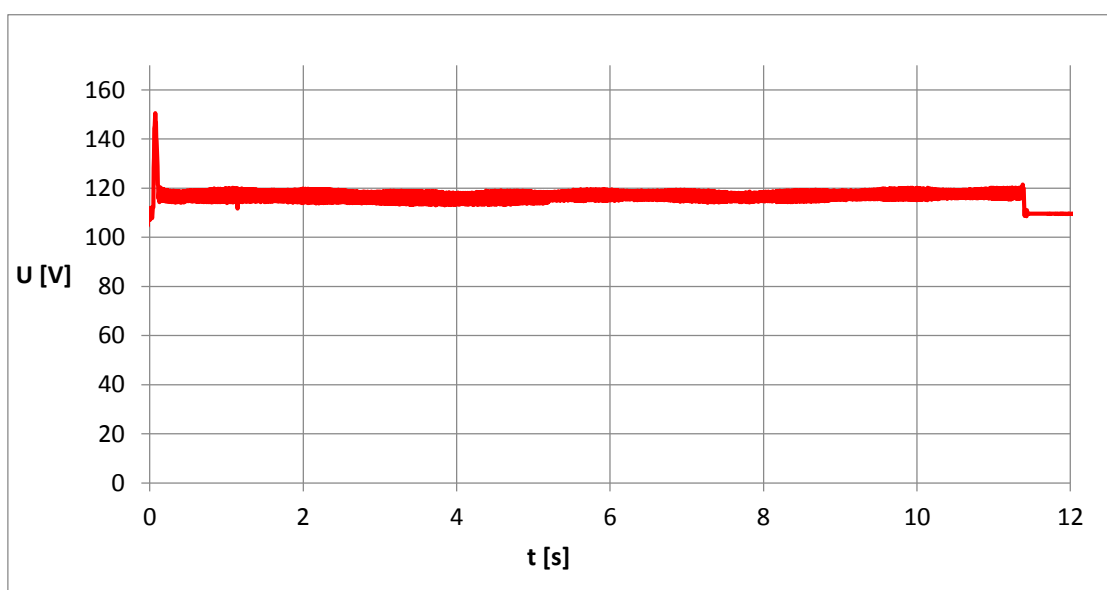


Obr. 49 Požadovaná hodnota r52011, nastavení regulátoru  $K_p = 0,1$  a  $T_n = 0,03s$

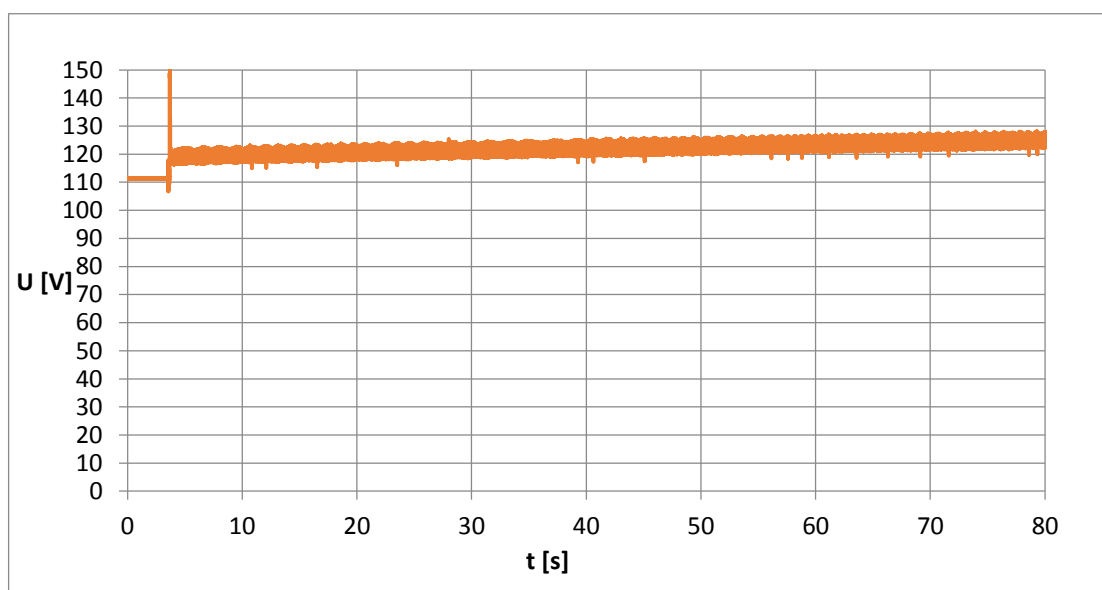


Obr. 50 Aktuální hodnota r52117, nastavení regulátoru  $K_p = 0,1$  a  $T_n = 0,03s$

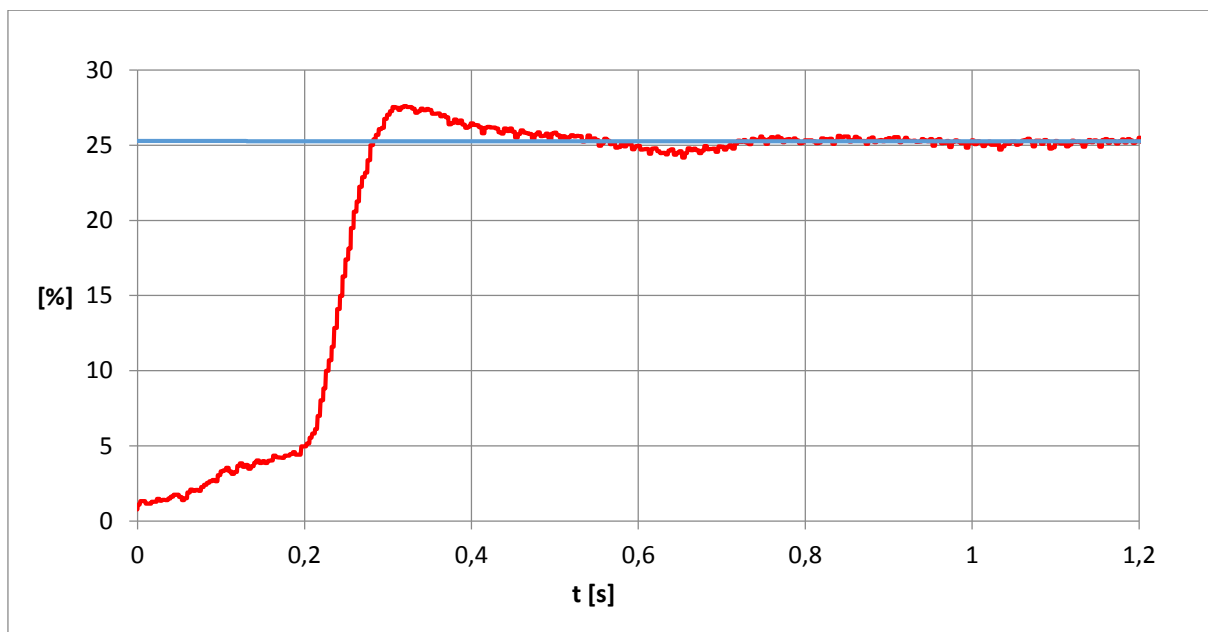
Po nastavení regulátoru se podíváme na výstupní napětí. Můžeme si všimnout, že při spuštění nabíjení se na začátku ukáže napěťová špička. Proto měnič okamžitě vypínal, hned po spuštění. Napěťová špička vznikne hned po spuštění a po 100ms je to v pořádku. Tohle jsem nezjistil, jak by to šlo eliminovat. Je to dáno rozběhem a omezením měniče. Z grafu průběhu viz. obr. 51, vidíme že napětí není konstantní, ale kmitá asi 3-4V. Tohle je dané připojenou tlumivkou, na které jsem naměřil úbytek napětí 3,7V. Napětí, které měřím, není přímo na akumulátorech, ale je na výstupu měniče. Na obr. 51 došlo k samovolnému vypnutí měniče. Po ověření naměřených dat jsem zjistil, že napětí dosáhlo hodnoty 122V a v tomto případě zafungovala vypínací logika. Jen při zapínání musí být přepínač 3 aktivní a po 1 sekundě ho můžeme vypnout.



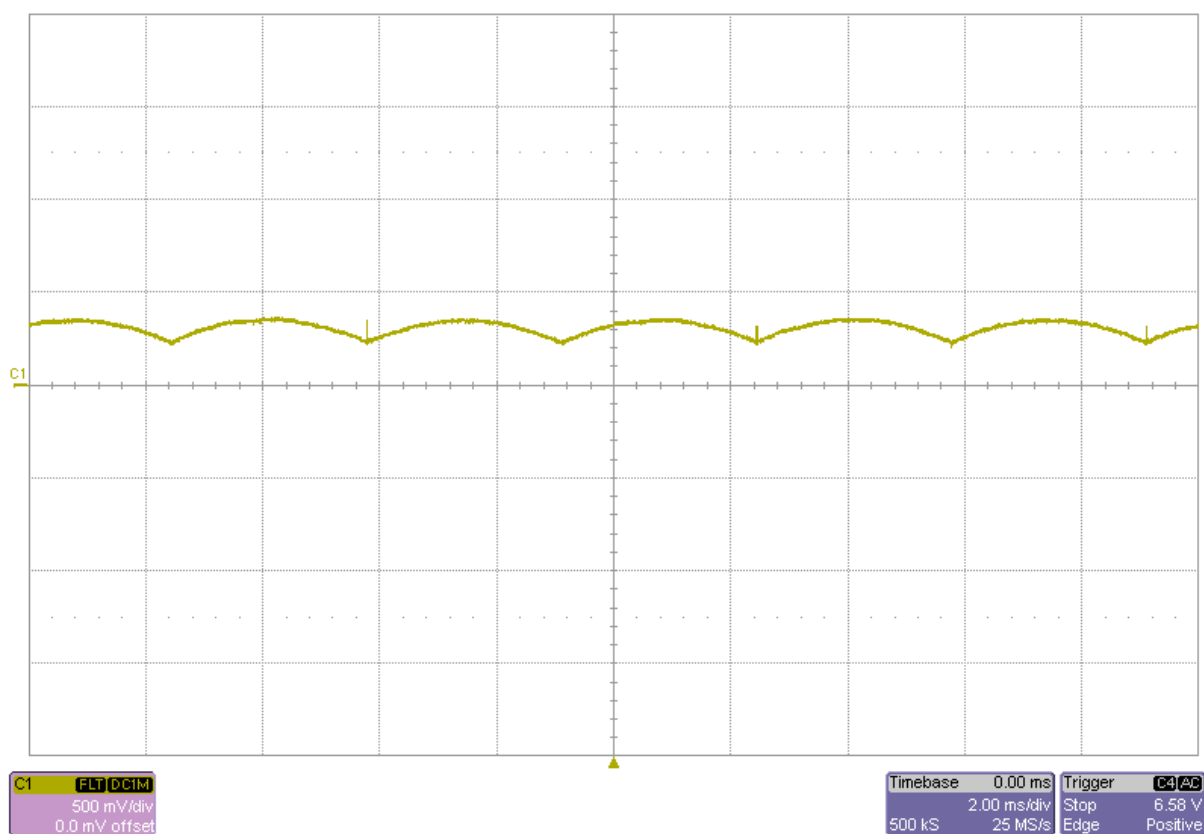
Obr. 51 Průběh napětí při nabíjení



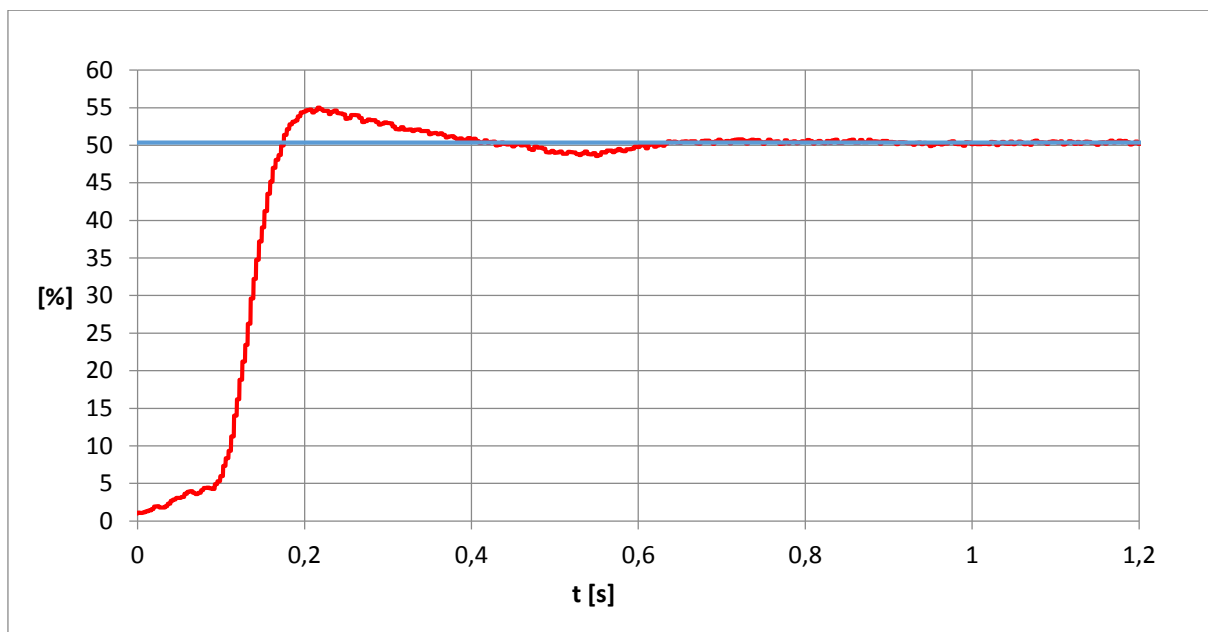
Obr. 52 Průběh napětí při nabíjení



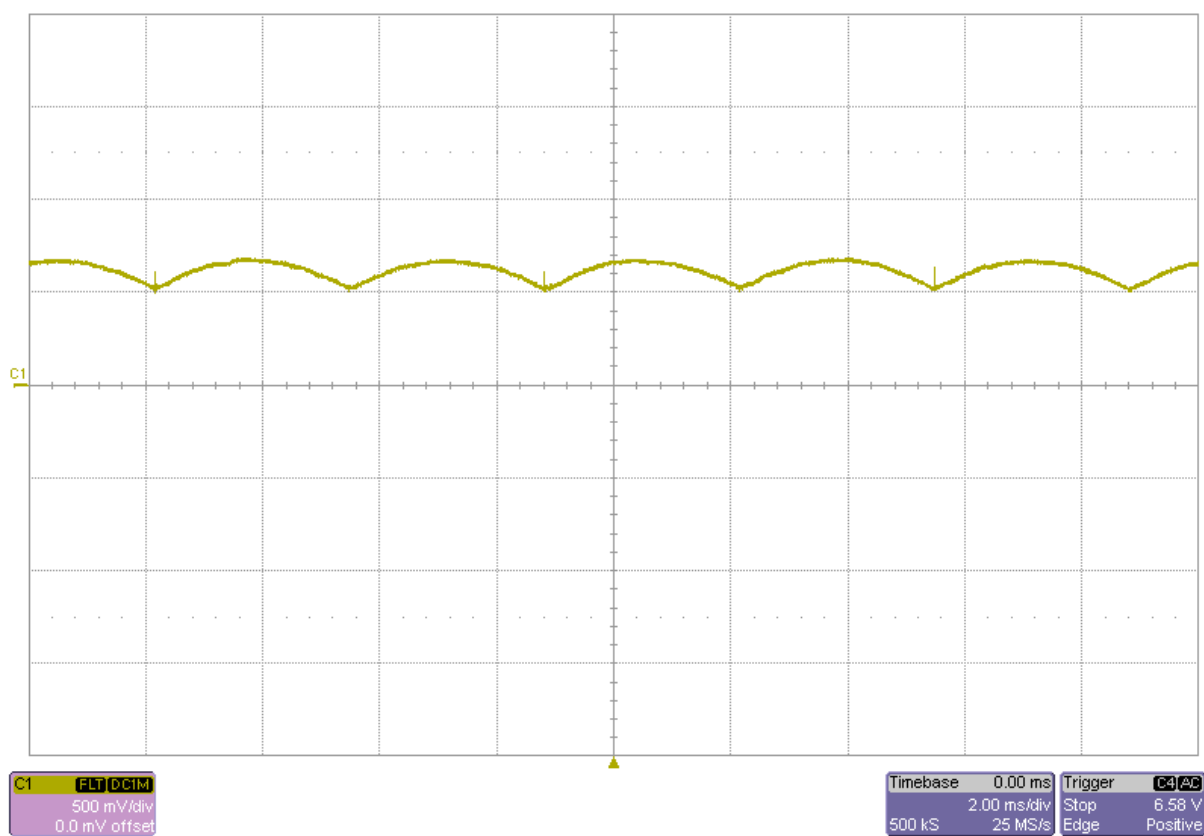
Obr. 53 Průběh žádané a skutečné hodnoty pro proud 3A ( $K_p = 0,1$  a  $T_n = 0,03s$ )



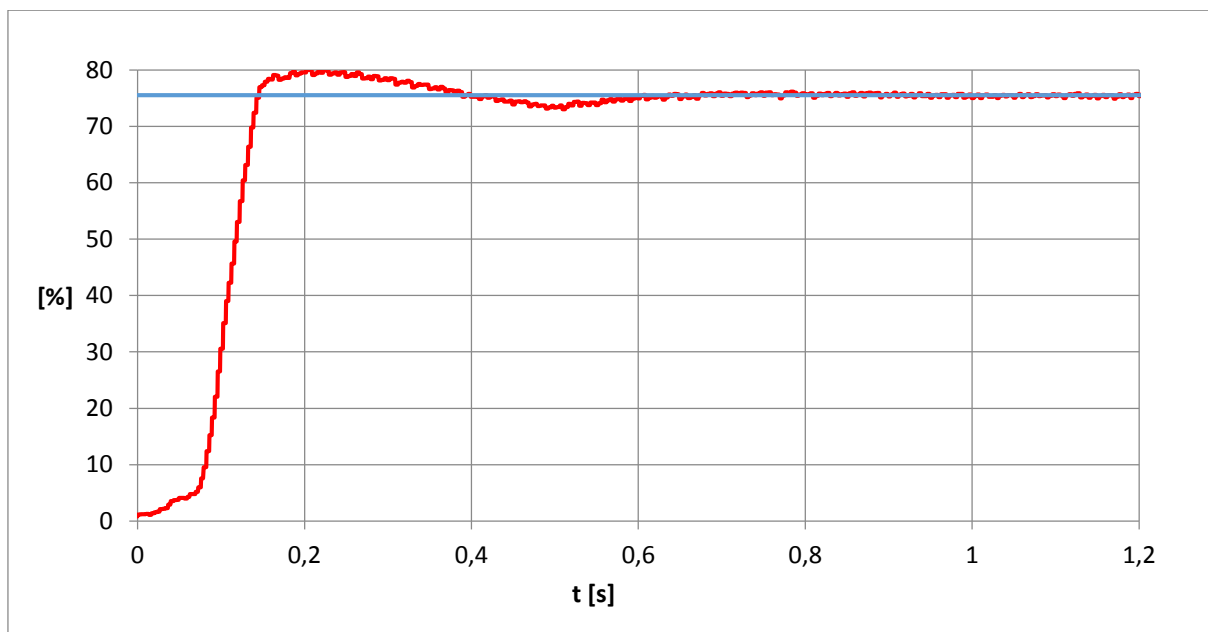
Obr. 54 Průběh proudu 3A – (proudová sonda 100mV/A, rozsah osc. 500mV/dílek)



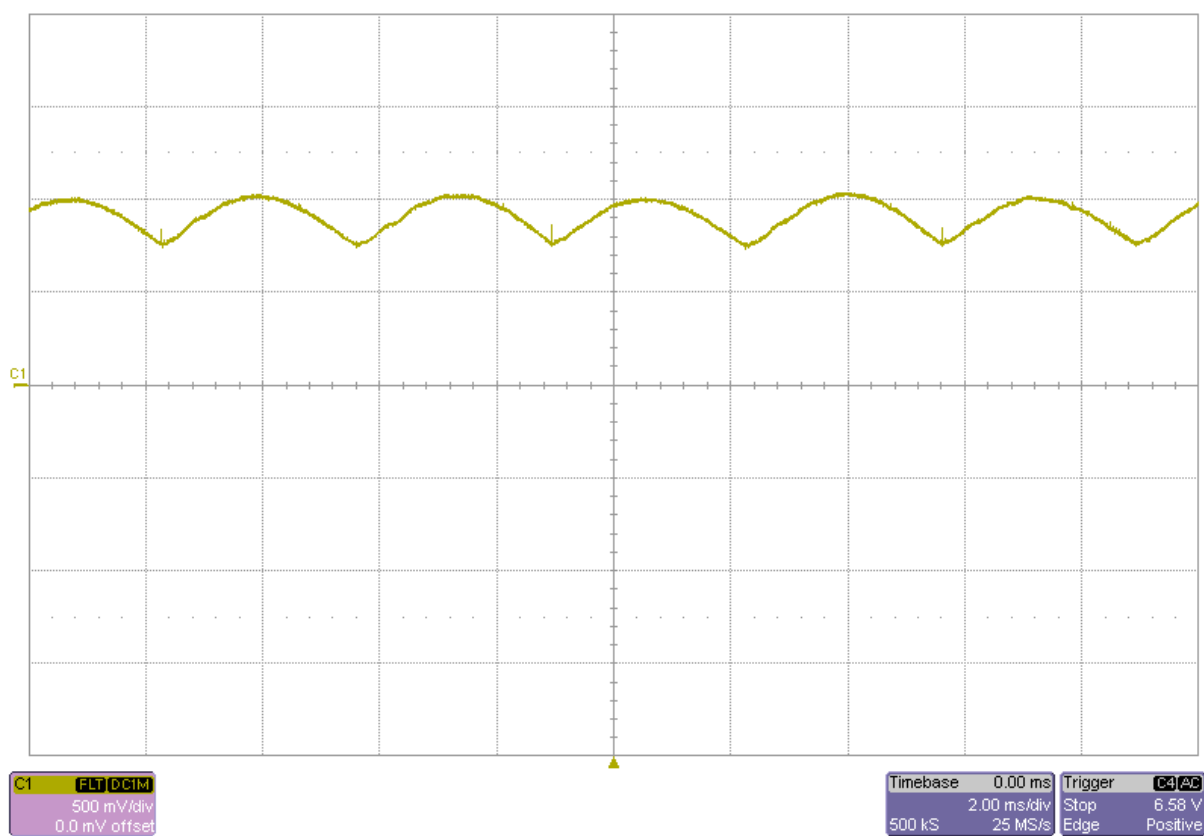
Obr. 55 Průběh žádané a skutečné hodnoty pro proud 6A ( $K_p = 0,1$  a  $T_n = 0,03s$ )



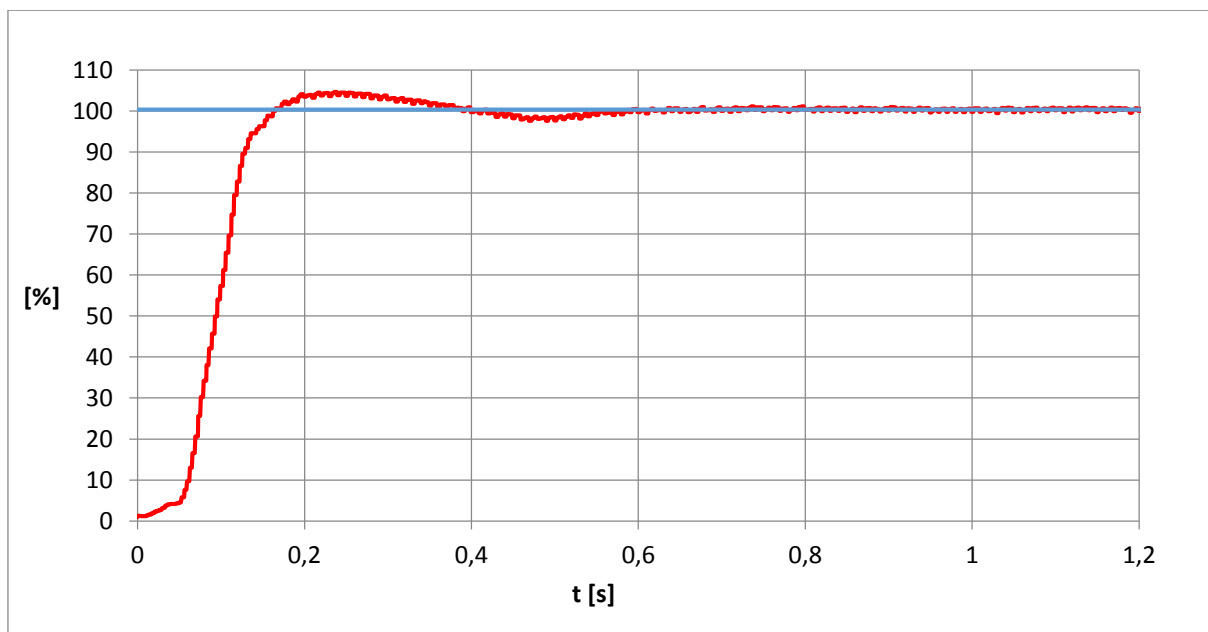
Obr. 56 Průběh proudu 6A – (proudová sonda 100mV/A, rozsah osc. 500mV/dílek)



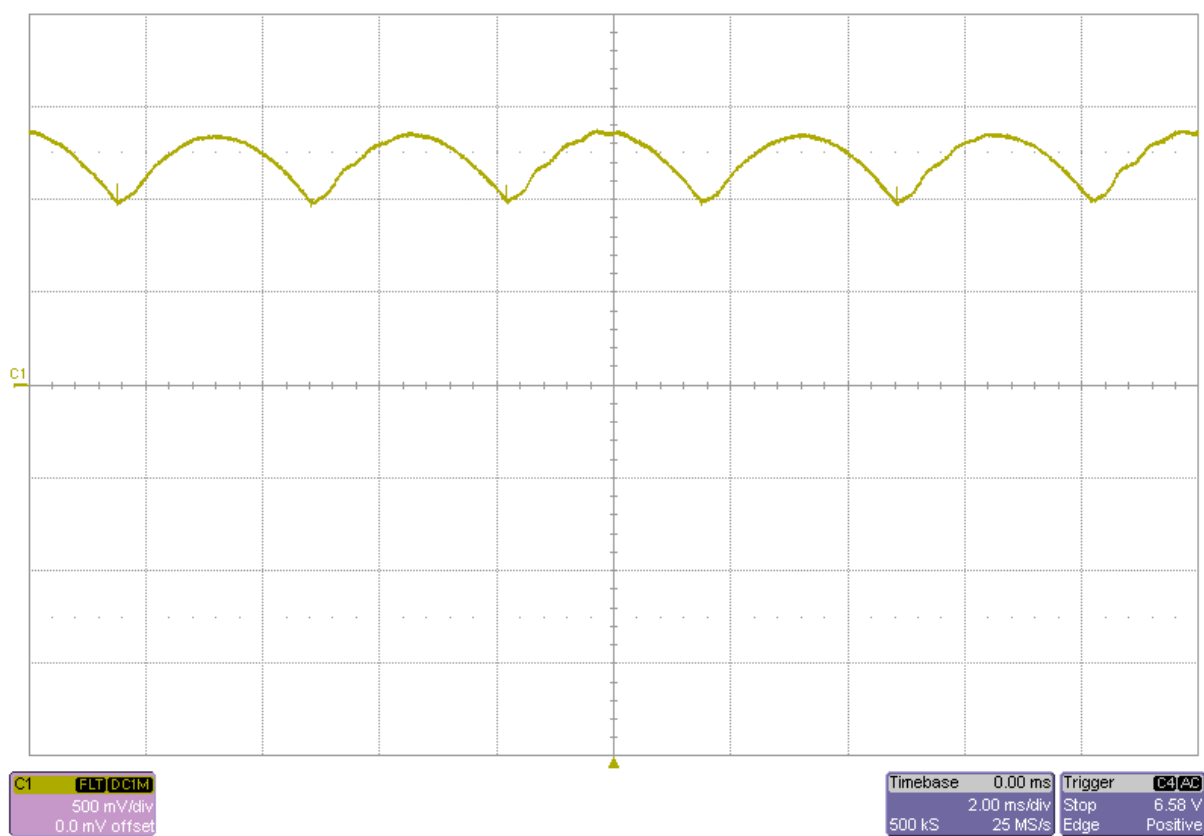
Obr. 57 Průběh žádané a skutečné hodnoty pro proud 9A ( $K_p = 0,1$  a  $T_n = 0,03s$ )



Obr. 58 Průběh proudu 9A – (proudová sonda 100mV/A, rozsah osc. 500mV/dílek)

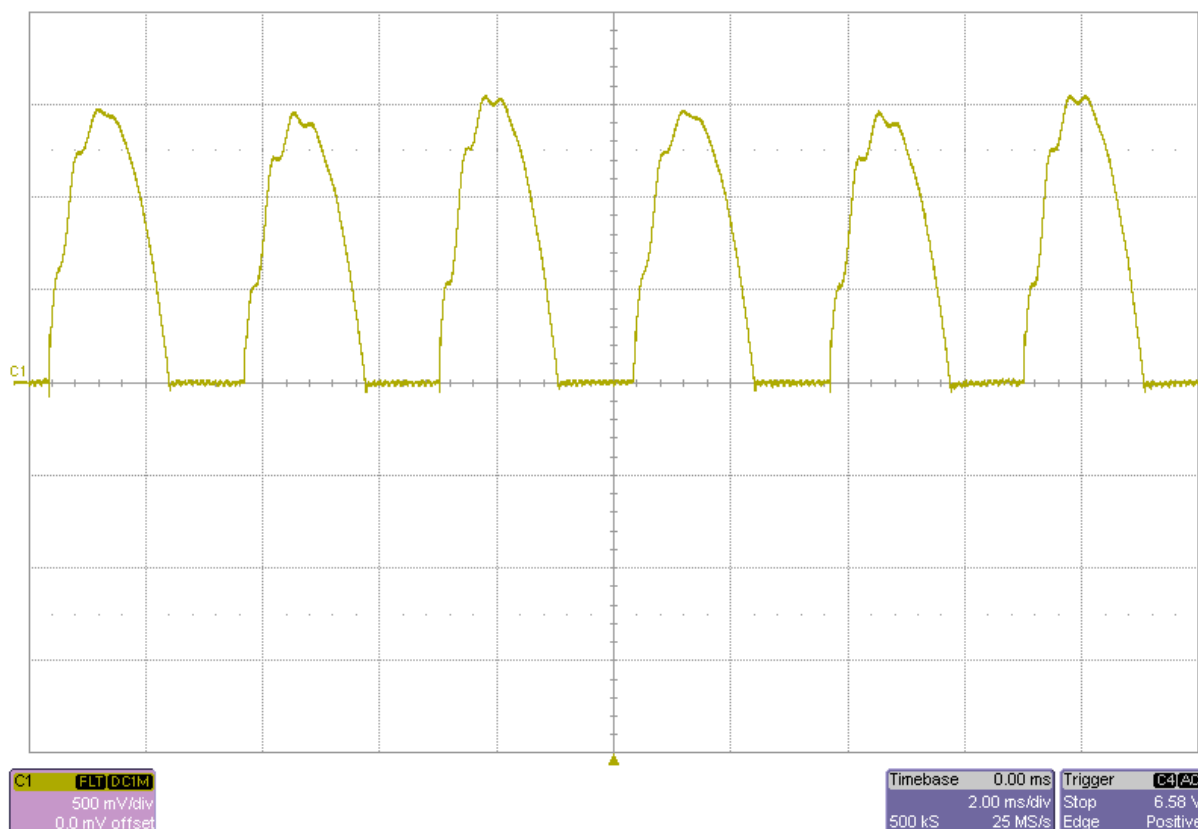


Obr. 59 Průběh žádané a skutečné hodnoty pro proud 12A ( $K_p = 0,1$  a  $T_n = 0,03s$ )



Obr. 60 Průběh proudu 12A – (proudová sonda 100mV/A, rozsah osc. 500mV/dílek)

Z výše uvedených průběhů si můžeme všimnout, jak jsou rozdíly v regulaci při různých proudech. Vidíme, že doba překmitu regulace je lepší pro větší hodnoty požadovaného proudu. Z uvedených průběhů vidíme, také proud při různých hodnotách nabíjení. Z obr. 61 si můžeme všimnout průběhu proudu bez připojené tlumivky. Jak vidíme, tak proud je přerušovaný. Napětí na akumulátorech je nyní měřeno přesně, ale takový proud je pro nabíjení nepoužitelný. Takže tlumivka musí být použita pro nabíjení.



Obr. 61 Průběh proudu bez tlumivky – (proudová sonda 100mV/A)

Seznam měřicích přístrojů:

SINAMICS DC Master: 6RX1800-0SV00

Akumulátory : 8x WBLP12V90AH

Tlumivka:  $L=140\text{mH}$ ,  $R=1\Omega$

Oddělovací transformátor: DREIPHASENTRENNSTELLTRANSFORMATOR DTS

400/400/10, 3x 3-400V - 10A

Osciloskop: LeCroy WAVESURFER 424, inv. č. 25686

## 5 ZÁVĚR

Hlavním úkolem mé diplomové práce bylo navrhnout a zrealizovat nabíjení akumulátorů pomocí měniče SINAMICS DC MASTER. Na začátku práce jsem se zabýval samotným měničem. Zmínil jsem také, jaké jsou výhody tohoto měniče. Rozebral jsem regulační strukturu měniče, kde je patrné, jak tento měnič funguje. V této práci bylo shrnuto, jak vypadá demonstrační pracoviště DCM, na kterém jsem prováděl veškeré nastavení. Popsal jsem všechny přídatné komponenty, které měnič obsahuje. Zmínil jsem se o základních možnostech ovládaní měniče. Nastavení měniče je nejvýhodnější pomocí programu STARTER. Dále jsem se zabýval požadavky na nabíjení akumulátorů. V poslední kapitole je uveden postup nastavení měniče pro nabíjení akumulátorů LiFePo. Funkčnost nabíječky jsem ověřil na akumulátorech. Naměřené výsledky jsou uvedeny v poslední kapitole. Jak si můžeme všimnout z obr. 51, tak v případě překročení napětí na akumulátorech, měnič automaticky vypne nabíjení. Z dalších uvedených průběhů je patrné, že regulátor proudu pracuje správně pro všechny požadované proudy. Tato diplomová práce, může sloužit jako návod pro nastavení měniče jako nabíječ akumulátorů. Vypracování této práce bylo pro mě přínosem a dozvěděl jsem se mnoho informací ohledně měniče firmy Siemens.



## 6 LITERATURA

- [1] SINAMICS DCM Converter Units: Catalog D 23.1 [online]. [www1.siemens.cz](http://www1.siemens.cz): web, 2010 [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: [http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data\\_files/katalogy/d23-1/cat\\_d23-1\\_2010\\_en](http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/katalogy/d23-1/cat_d23-1_2010_en).
- [2] Sinamics DC Master: Flexibilní a inteligentní stejnosměrný měnič [online]. [www1.siemens.cz](http://www1.siemens.cz): web [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: [http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data\\_files/technika\\_pohonu/menice/stejnosmerne\\_menice/sinamics-dc-master/brochure\\_sinamics-dcm\\_2011\\_cz.pdf](http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/technika_pohonu/menice/stejnosmerne_menice/sinamics-dc-master/brochure_sinamics-dcm_2011_cz.pdf)
- [3] SINAMICS drives: SINAMICS DCM as a DC voltage source - Application [online]. [www.siemens.com](http://www.siemens.com): web [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/527/92376527/att\\_79354/v1/DCM\\_as\\_a\\_DC\\_voltage\\_source.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/527/92376527/att_79354/v1/DCM_as_a_DC_voltage_source.pdf)
- [4] SINAMICS DCM, DC Converter: Application SINAMICS DCM as field supply unit [online]. [www.siemens.com](http://www.siemens.com): web, 2013 [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/177/47362177/att\\_111865/v1/Application\\_SINAMICS\\_DCM\\_field\\_supply\\_unit.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/177/47362177/att_111865/v1/Application_SINAMICS_DCM_field_supply_unit.pdf)
- [5] STRAKOVÁ FEDORKOVÁ, Andrea. New composite cathodes for li-ion batteries: Nové kompozitní katódy pre li-iónové batérie : short version of habilitation thesis physical chemistry. Brno: VUTIUUM, 2015. ISBN 978-80-214-5133-9.
- [6] MAREK, Jiří a Luděk STEHLÍK. Hermetické akumulátory v praxi. Praha: IN-EL, 2004. Elektro (IN-EL). ISBN 80-86230-34-1.
- [7] GINLEY, D. S. a David. KAHEN. Fundamentals of materials for energy and environmental sustainability. New York: Cambridge University Press, c2012. ISBN 1107000238.
- [8] MIROSLAV, CENEK. Akumulátory a baterie. Praha: STRO.M, 1996. Knižnice Elektro.
- [9] JUNG, Joey, Lei ZHANG a JiuJun ZHANG. Lead-acid battery technologies: fundamentals, materials, and applications. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. ISBN 9781466592223.
- [10] CENEK, Miroslav. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.
- [11] BU-403: Charging Lead Acid. Battery university [online]. web: Battery university, 2016 [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: [http://www.batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_the\\_lead\\_acid\\_battery](http://www.batteryuniversity.com/learn/article/charging_the_lead_acid_battery)
- [12] WU, Yuping (ed.). Lithium-ion batteries: fundamentals and applications. Boca Raton: CRC Press, 2015. Electrochemical energy storage and conversion. ISBN 978-1-4665-5733-8.

- [13] ExtremeTech [online]. ExtremeTech: web [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <http://www.extremetech.com>
- [14] PowerStream [online]. web, 2016 [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <http://www.powerstream.com>
- [15] DOYLE, M., E. TAKEUCHI a K. M. ABRAHAM. Rechargeable lithium batteries: proceedings of the international symposium. Pennington, NJ: The Electrochemical Society, c2001. Proceedings (Electrochemical Society), v. 2000-21. ISBN 1566772885.
- [16] ABU-LEBDEH, Yaser a Isobel DAVIDSON (eds.). Nanotechnology for lithium-ion batteries. New York: Springer, c2013. Nanostructure science and technology. ISBN 978-1-4614-4604-0.
- [17] ECMath Project SE4: Mathematical modeling, analysis and novel numerical concepts for anisotropic nanostructured materials. Weierstraß-Institut [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <http://www.wias-berlin.de/people/rogers/se4/>
- [18] Lithium batteries. University of Cambridge [online]. web [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: [http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/batteries/batteries\\_lithium.php](http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/batteries/batteries_lithium.php)